



**CONCOURS INTERNE POUR LE RECRUTEMENT
D'ÉLÈVES INGÉNIEURS DES TRAVAUX DE LA MÉTÉOROLOGIE
SESSION 2019**

ÉPREUVE FACULTATIVE A OPTION :

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE

Durée : 2 heures

Coefficient : 3 (pour les points au-dessus de 10)

La rigueur, le soin et la clarté apportés à la rédaction des réponses seront pris en compte dans la notation. L'utilisation de toute documentation (dictionnaire, support papier, traducteur, téléphone portable, assistant électronique, etc) est strictement interdite.

Cette épreuve comporte 5 parties indépendantes. Les parties peuvent être abordées dans l'ordre du choix des candidats.

Pièces jointes : 2 émagrammes **à rendre avec la copie**.

Barème :

- Partie 1 : 2 points
- Partie 2 : 5 points
- Partie 3 : 5 points
- Partie 4 : 4 points
- Partie 5 : 4 points

Cette épreuve comporte 7 pages.

Données utiles

- ✓ $R_a = 287,05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, où R_a est la constante spécifique de l'air sec
- ✓ $R_v = 461,5 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, où R_v est la constante spécifique de la vapeur d'eau
- ✓ Accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$
- ✓ Masse volumique de l'eau liquide : on prendra la valeur approximative de 1000 kg m^{-3} .

Partie I

Sur le principe du célèbre baromètre de Torricelli, on se propose de réaliser un baromètre écologique en remplaçant le mercure par de l'eau liquide.

Calculez la hauteur de la colonne d'eau dans le baromètre, lorsque la pression atmosphérique vaut 1015 hPa.

Partie II

- 1) a) L'hypothèse géostrophique suppose réalisé l'équilibre dynamique entre plusieurs forces. Quelles sont ces forces ?
b) Quel est l'ordre de grandeur de l'erreur relative commise quand on utilise l'approximation géostrophique à l'échelle synoptique aux moyennes latitudes, hors couche limite atmosphérique ? Comparer à l'erreur relative commise en utilisant cette approximation à l'échelle synoptique dans les régions tropicales, hors couche limite atmosphérique. Expliquer d'où vient la différence entre ces deux erreurs relatives.
- 2) a) L'hypothèse hydrostatique suppose elle aussi réalisé l'équilibre dynamique entre plusieurs forces. Quelles sont ces forces ?
b) Comment obtient-on la loi de Laplace des épaisseurs ? En vous appuyant sur cette loi, expliquer comment se forme un anticyclone thermique. Citer un anticyclone thermique de l'hémisphère nord, et indiquer à quelle période de l'année on peut l'observer.
c) À quelle période de l'année observe-t-on des dépressions thermiques dans l'hémisphère nord ? À quelles localisations géographiques ?
d) Soit une station située à 200 mètres d'altitude par rapport au niveau de la mer. On a relevé à cette station une pression de 1002 hPa, une température de 5°C , et une température du point de rosée de 1°C . Calculer la pression réduite au niveau de la mer, en supposant que le gradient vertical de température virtuelle est identique au gradient vertical de température en atmosphère standard, soit $-0,65^\circ\text{C}/100$ mètres.
- 3) Quelle relation fondamentale en météorologie obtient-on en faisant la synthèse du géostrophisme et de l'hydrostatisme ?

Partie III

Un radiosondage a permis de dresser le tableau suivant, indiquant des valeurs de pression P, de température T, et de température du point de rosée T_d .

P (hPa)	1000	850	700	600	500	350	300	270	200	150
T (°C)	26	14	2	-6	-16,5	-33	-39	-43	-48	-48
T_d (°C)	22	7	-2	-13	-23	-38	Absente	Absente	Absente	Absente

a) Tracer sur un émagramme la courbe d'état de ce sondage, ensemble des points de coordonnées P et T. Tracer également la courbe bleue, reliant les points de coordonnées P et T'_w (température pseudo-adiabatique du thermomètre mouillé).

b) Établir que l'expression de l'accélération verticale $\frac{dw}{dt}$ d'une particule d'air en fonction de sa température virtuelle T_{vp} et de celle de l'air environnant (notée T_v), s'écrit :

$$\frac{dw}{dt} = \frac{g}{T_v} (T_{vp} - T_v)$$

Pour cela on négligera la force de Coriolis et les frottements dans le bilan des forces verticales appliquées à la particule et on supposera l'air environnant en équilibre hydrostatique.

c) On assimile pour toute la suite de l'exercice la température virtuelle et la température. Déduire de l'expression montrée au b) une règle simple pour déterminer graphiquement sur un émagramme si une couche présente ou non un caractère d'instabilité aérologique. On distinguera les deux cas : couche non saturée et couche saturée.

d) Effectuer l'analyse de stabilité du sondage tracé au a), en utilisant les critères de Pone. Quelles sont les couches susceptibles de générer des nuages ? Préciser s'il y a lieu la base et le sommet de ces éventuels nuages.

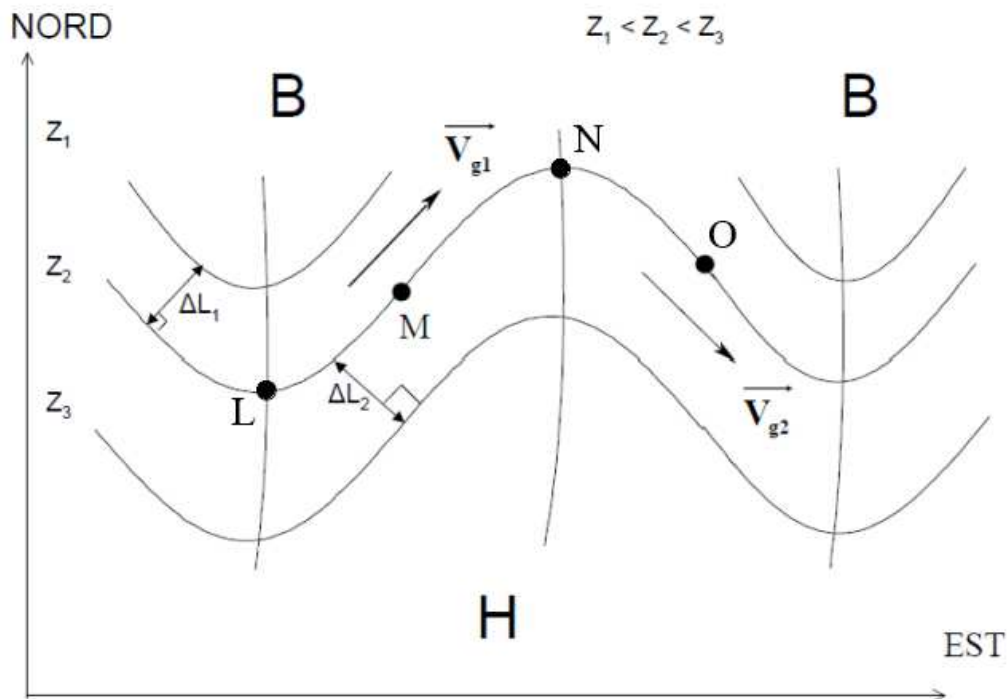
e) On considère une particule issue de la base du radiosondage, à partir de quel niveau de pression (appelé niveau de convection libre) deviendra-t-elle plus chaude que l'air environnant ?

f) Matérialiser sur l'émagramme la surface proportionnelle à l'énergie par unité de masse que l'on devrait apporter à une particule issue de la base du radiosondage, pour qu'elle atteigne son niveau de convection libre. Estimer alors cette énergie, en utilisant la correspondance surface/énergie indiquée dans le cartouche en haut à gauche de l'émagramme.

g) On considère toujours une particule issue de la base du sondage. En procédant de la même façon qu'au f), estimer (très grossièrement) son gain d'énergie cinétique verticale par unité de masse, entre le niveau de convection libre et le niveau où elle redevient plus froide que l'air environnant. En considérant que la vitesse verticale de la particule considérée est nulle au niveau de convection libre, estimer sa vitesse verticale maximale.

Partie IV

On considère un champ de géopotential à 500 hPa (figure ci-après) ; les isohypses de cette surface isobare ont des cotes notées Z_1 , Z_2 et Z_3 qui vérifient : $Z_2 - Z_1 = Z_3 - Z_2 = 40 \text{ mgp}$. La distance horizontale ΔL_1 séparant les isohypses de cotation Z_1 et Z_2 est de 250 km. La distance horizontale ΔL_2 séparant les isohypses de cotation Z_2 et Z_3 est de 300 km.



a) Calculer la force du vent géostrophique \vec{V}_{g1} entre les isohypses de cotation Z_1 et Z_2 , et celle du vent géostrophique \vec{V}_{g2} entre les isohypses de cotation Z_2 et Z_3 .
On considère pour cela que le paramètre de Coriolis est égal à 10^{-4} s^{-1} sur la zone.

b) Comparer (sans chiffrer, question purement qualitative) l'intensité probable du vent horizontal réel aux quatre points L, M, N, O, expliquer d'où viennent les éventuelles différences d'intensité.

Partie V : Questionnaire à choix multiples

- Cette dernière partie se présente sous la forme d'un QCM comportant douze questions. Pour chaque question posée, quatre propositions de réponse s'offrent au candidat, et une seule réponse est juste.
Pour chacune des questions, 0,33 point sera attribué pour la bonne réponse, 0 point en l'absence de réponse, et -0,1 point sera retiré pour une réponse fausse.
- Indiquer sur votre copie le numéro de la question et la lettre correspondant à la réponse choisie.
- Certaines questions seront traitées à l'aide d'un émagramme.

1) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 600 hPa, de température -11°C . Sa température potentielle :

- A. vaut 30°C
- B. vaut 10°C
- C. vaut 0°C
- D. est impossible à déterminer à partir de ces seules données, il manque une donnée d'humidité.

2) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 600 hPa, de température -11°C . Sa température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé :

- A. vaut 30°C
- B. vaut 10°C
- C. vaut 0°C
- D. est impossible à déterminer à partir de ces seules données, il manque une donnée d'humidité.

3) Dans l'atmosphère standard, le profil de température dans la troposphère présente

- A. une augmentation de T de $1,00^{\circ}\text{C}$ quand on s'élève de 100 mètres.
- B. une augmentation de T de $0,65^{\circ}\text{C}$ quand on s'élève de 100 mètres.
- C. une diminution de T de $1,00^{\circ}\text{C}$ quand on s'élève de 100 mètres
- D. une diminution de T de $0,65^{\circ}\text{C}$ quand on s'élève de 100 mètres

4) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 880 hPa, de température 12°C . Son rapport de mélange saturant vaut environ :

- A. 1 g/kg
- B. 5 g/kg
- C. 6,5 g/kg
- D. 10 g/kg



5) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 1000 hPa, de température -5°C , et d'humidité relative 75 %. Son rapport de mélange vaut environ :

- A. 0,5 g/kg
- B. 2 g/kg
- C. 5 g/kg
- D. 7 g/kg

6) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 1000 hPa, de température 15°C , et d'humidité relative 60 %. Sa température du point de rosée vaut environ :

- A. $4,5^{\circ}\text{C}$
- B. $5,2^{\circ}\text{C}$
- C. $7,5^{\circ}\text{C}$
- D. 10°C

7) Soit une particule d'air atmosphérique de pression 1000 hPa, de température 15°C , et d'humidité relative 60 %. Sa θ'_w vaut environ :

- A. $10,6^{\circ}\text{C}$ environ
- B. 12°C environ
- C. $5,3^{\circ}\text{C}$ environ
- D. $14,2^{\circ}\text{C}$ environ

8) Le LFC ("Level of Free Convection", niveau de convection libre) d'une couche $[P_B, P_S]$ est par définition :

- A. le niveau à partir duquel on observe des formes condensées (liquide ou solide) de l'eau
- B. le niveau auquel les particules d'air issues de la base de la couche ont le maximum d'énergie cinétique sur la verticale.
- C. le niveau que doivent atteindre les particules issues du niveau P_B pour devenir plus chaudes que leur environnement.
- D. le niveau que doivent atteindre les particules issues du niveau P_B pour redevenir plus froides que leur environnement.

9) L'unité de la CAPE :

- A. est le g/kg
- B. est le Pa
- C. est le J/kg
- D. la CAPE est un nombre sans dimension



10) Soit la couche [1000, 850 hPa], saturée par rapport à l'eau liquide. A la base de la couche, la température vaut 2°C ; elle vaut -3°C au sommet de la couche. Alors la couche [1000, 850hPa] est :

- A. très instable
- B. légèrement instable
- C. stable ou instable, cela dépend de la valeur du rapport de mélange
- D. stable

11) La convection peut se produire :

- A. dans tous les corps naturels, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux
- B. dans les gaz seulement
- C. dans les liquides seulement
- D. dans les liquides ou les gaz

12) La température potentielle d'une particule d'air atmosphérique est :

- A. La température qu'indiquerait le thermomètre mouillé d'un psychromètre
- B. La température que prendrait cette particule si on l'amenait par une transformation adiabatique réversible jusqu'au niveau de pression 1000 hPa
- C. La température qu'il faut atteindre pour que la particule se sature suite à un refroidissement isobare.
- D. La température que prendrait cette particule si on l'amenait par une transformation pseudo-adiabatique jusqu'au niveau de pression 1000 hPa