



**CONCOURS EXTERNE SPECIAL POUR LE RECRUTEMENT
D'ELEVES INGENIEURS DES TRAVAUX DE LA METEOROLOGIE
ET
D'ELEVES INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE
SESSION 2016**

**EPREUVE ECRITE OBLIGATOIRE
METEOROLOGIE**

Durée : 4 heures

Coefficient : 6

La rigueur, le soin et la clarté apportés à la rédaction seront pris en compte dans la notation.
L'utilisation d'une calculatrice de poche, standard, programmable, alphanumérique ou à écran graphique est autorisée à condition que son fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante ni de dispositif externe de stockage (cartes, clé usb, etc).
L'utilisation de toute documentation sur support papier ou électronique est strictement interdite.

Documents fournis avec les copies : deux émagrammes.

Cette épreuve aborde trois domaines différents :

- Domaine A : METEOROLOGIE GENERALE. 3 exercices (7 points)
- Domaine B : METEOROLOGIE DYNAMIQUE. 3 exercices (7 points)
- Domaine C : COUCHE LIMITE. 2 exercices (6 points)

IMPORTANT : CHACUN DES DOMAINES A, B ET C DOIT ETRE REDIGE SUR UNE COPIE SEPARÉE.

Pour tout document annexe rendu avec la copie, le candidat portera sur celui-ci le nom du centre d'examen où il passe l'épreuve, le numéro de la place occupée et le domaine concerné, à l'exclusion de toute autre information. En haut et à gauche de chacune des copies doubles et des documents annexes, le candidat devra porter un numéro d'ordre (1/N, 2/N, N/N, N correspondant au nombre total de documents rendus).

Ce sujet comporte 12 pages (page de garde incluse).

DOMAINE A : METEOROLOGIE GENERALE (7 points)

Pièce jointe : un émagramme à axes obliques, à rendre avec la copie.

Le domaine A est composé de trois exercices indépendants :

- Le premier exercice est un QCM ;
- Le deuxième exercice est un exercice de thermodynamique atmosphérique ;
- Le troisième exercice est un exercice de thermodynamique.

Premier exercice de météorologie générale : questionnaire à choix multiples (30 questions).

Inscrivez sur votre copie le numéro de la question, et la lettre correspondant à la réponse choisie. Une et une seule bonne réponse par question.

Barème : 0,08 point par réponse correcte ; 0 point en l'absence de réponse ; -0,08 point pour trois réponses fausses.

1) Dans la troposphère, le vent zonal moyen aux moyennes latitudes est :

- A. Un vent d'Ouest dans l'hémisphère Nord, d'Est dans l'hémisphère Sud, le maximum de force du vent se situe à la tropopause ;
- B. Un vent d'Ouest dans les deux hémisphères, le maximum de force du vent se situe à la tropopause ;
- C. Un vent d'Ouest dans l'hémisphère Nord, d'Est dans l'hémisphère Sud, le maximum de force du vent se situe en moyenne troposphère vers 500 hPa ;
- D. Un vent d'Ouest dans les deux hémisphères, avec un cisaillement vertical du vent très faible : il n'y a quasiment pas de variation du vent avec l'altitude.

2) Les cellules de Hadley :

- A. Sont beaucoup plus fortes dans l'hémisphère d'hiver (dix fois plus fortes que dans l'hémisphère d'été) ;
- B. Sont d'une intensité comparable d'un hémisphère à l'autre, avec toutefois une intensité toujours légèrement supérieure dans l'hémisphère Nord du fait d'une présence plus importante de masses continentales ;
- C. Sont beaucoup plus fortes dans l'hémisphère d'été (dix fois plus fortes que dans l'hémisphère d'hiver) ;
- D. Se renforcent dans les deux hémisphères vers la fin du mois de juin.

3) La loi de Stefan-Boltzmann exprimant l'émission du corps noir en fonction de sa température s'écrit :

- A. $M(T) = \sigma T^4$;
- B. $M(T) = \sigma T$;
- C. $M(T) = \sigma T^{-4}$;
- D. $M(T) = \sigma T^{-1}$.

- 4) Dans quel domaine du spectre électromagnétique une onde de longueur d'onde 300 nm (nanomètres) se situe-t-elle ?
- A. Infra-rouge ;
 - B. Visible ;
 - C. Ultra-Violet ;
 - D. Ondes radio.
- 5) Par définition, un corps noir est un corps théorique qui :
- A. Transmet tout le rayonnement qu'il reçoit ;
 - B. Absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit ;
 - C. Réfléchit de façon spéculaire tout le rayonnement qu'il reçoit ;
 - D. Rétro-diffuse tout le rayonnement qu'il reçoit.
- 6) La loi de Wien qui décrit le rayonnement du corps noir permet de comprendre que :
- A. Un corps noir n'émet absolument aucune énergie ;
 - B. La puissance rayonnée par un corps noir est proportionnelle à sa température en Kelvin ;
 - C. Plus on chauffe un corps noir, plus son spectre d'émission se déplace vers les courtes longueurs d'onde ;
 - D. Un corps noir à une température T émet une puissance inférieure à celle qu'émettrait un corps naturel à la même température T .
- 7) Le bilan radiatif moyen du système Terre-atmosphère est :
- A. Globalement équilibré ; le sous-système Terre est excédentaire, tandis que le sous-système "atmosphère" est déficitaire ;
 - B. Déficitaire ; chacun des sous-systèmes, Terre et atmosphère, est déficitaire ;
 - C. Déficitaire ; le sous-système Terre est à l'équilibre radiatif, mais l'atmosphère est en déficit ;
 - D. Globalement équilibré ; le sous-système Terre est déficitaire, tandis que le sous-système "atmosphère" est excédentaire.
- 8) L'hypothèse pseudo adiabatique suppose que :
- A. Toute la vapeur d'eau contenue dans les particules d'air se condense ;
 - B. Toute l'eau condensée précipite ;
 - C. Toute l'eau condensée reste en suspension dans les particules d'air ;
 - D. Il n'y a pas d'eau condensée en suspension, toute l'eau est sous forme vapeur.
- 9) Soit une particule d'air initialement au niveau de pression 1000 hPa, ayant à ce niveau une température de 23°C . Elle s'élève sans se saturer jusqu'au niveau de pression 700 hPa. On peut dire que :
- A. Sa température potentielle à 700 hPa vaut 20°C ;
 - B. Sa température pseudo-adiabatique du thermomètre mouillé à 700 hPa vaut 23°C ;
 - C. Sa température potentielle à 700 hPa vaut 23°C ;
 - D. Sa température à 700 hPa vaut 23°C .
- 10) Une inversion de température est caractérisée par :
- A. Un air limpide à cause d'un vent fort qui disperse les polluants ;
 - B. De puissantes ascendances convectives générant des nuages d'orage ;
 - C. Un blocage des mouvements verticaux ;
 - D. Une température à 2 mètres qui se refroidit anormalement en cours de journée.

- 11) Au cours d'une détente adiabatique d'une particule d'air non saturé, les variations de température au sein de cette particule sont dues uniquement :
- A. Aux échanges par conduction avec l'air environnant ;
 - B. Au travail des forces de pression ;
 - C. Au réchauffement diurne au niveau du sol ;
 - D. Au dégagement de chaleur latente.
- 12) Considérons une particule d'air atmosphérique, initialement non saturée, qui subit un refroidissement isobare ; la température à laquelle cette particule se saturerait par rapport à l'eau liquide s'appelle la température :
- A. Du point de condensation ;
 - B. Potentielle ;
 - C. Du point de rosée ;
 - D. Du thermomètre mouillé.
- 13) Lors d'une détente d'une particule d'air saturé, sa température potentielle θ :
- A. Augmente, à cause du dégagement de chaleur latente ;
 - B. Ne change pas, la température potentielle θ est un invariant particulière ;
 - C. Diminue à cause du travail des forces de pression ;
 - D. Diminue à cause de la chaleur cédée par conduction à l'environnement plus froid.
- 14) La CAPE est :
- A. Le travail moteur de la flottabilité entre la base du radiosondage considéré et le niveau de convection libre ;
 - B. La travail moteur des forces de pression sur la verticale, entre le niveau de convection libre et la tropopause ;
 - C. Le travail moteur des forces de pression sur la verticale, entre la base du radiosondage considéré, et la tropopause ;
 - D. Le travail moteur de la flottabilité, entre le niveau de convection libre et le niveau de flottabilité neutre.
- 15) Sur une particule d'air au repos dans le référentiel terrestre, la force de Coriolis :
- A. A un effet d'accélération vers les bas géopotentiels dans l'hémisphère Nord ;
 - B. A un effet d'accélération vers les hauts géopotentiels dans l'hémisphère Nord ;
 - C. N'a aucun effet ;
 - D. A pour effet d'augmenter son énergie cinétique.
- 16) Pour un vent horizontal donné, la norme de la composante horizontale de la force de Coriolis :
- A. Est maximale aux moyennes latitudes ;
 - B. Ne dépend pas de la latitude ;
 - C. Décroit linéairement en allant vers les pôles ;
 - D. Est maximale aux pôles.
- 17) L'équilibre hydrostatique est un équilibre entre :
- A. La force de pression verticale et la force de Coriolis verticale ;
 - B. La force de pression horizontale et la force de Coriolis horizontale ;
 - C. Le poids et la force de Coriolis ;
 - D. Le poids et la force de pression verticale.

- 18) L'équilibre géostrophique est un équilibre entre :
- A. La force de pression verticale et le poids ;
 - B. La force de Coriolis horizontale et les frottements ;
 - C. La force de pression verticale et la force de Coriolis verticale ;
 - D. La force de pression horizontale et la force de Coriolis horizontale.
- 19) Le vent géostrophique est une bonne approximation du vent horizontal réel :
- A. Aux moyennes latitudes, à l'échelle aérologique et dans la Couche Limite Atmosphérique ;
 - B. Aux Moyennes Latitudes, à grande échelle, hors Couche Limite Atmosphérique ;
 - C. Dans les Tropiques, c'est une bonne estimation du vent dans les cyclones tropicaux en particuliers ;
 - D. Aux moyennes latitudes, à grande échelle, dans la Couche Limite Atmosphérique.
- 20) L'équilibre du vent thermique relie :
- A. Le cisaillement vertical de vent à la variation verticale de la température ;
 - B. La variation zonale du vent à la variation verticale de la température ;
 - C. Le cisaillement vertical de vent à la variation horizontale de température ;
 - D. La variation zonale du vent à la variation méridienne de la température.
- 21) Le nombre de Rossby est le rapport entre les normes respectives de :
- A. La force de Coriolis horizontale et les frottements sur l'horizontale ;
 - B. La force de pression horizontale et la force de Coriolis horizontale ;
 - C. L'accélération horizontale et la force de Coriolis horizontale ;
 - D. La force de Coriolis horizontale et le poids.
- 22) L'équilibre du vent thermique permet de comprendre :
- A. Qu'on observe aux moyennes latitudes un très faible cisaillement vertical de vent ;
 - B. Qu'on observe de façon générale dans les régions tropicales un très fort cisaillement vertical de vent ;
 - C. Qu'on observe un maximum de vent d'ouest à la tropopause, aux moyennes latitudes, dans les deux hémisphères ;
 - D. Qu'on observe à la tropopause, aux moyennes latitudes, un maximum de vent d'ouest dans l'hémisphère Nord et d'Est dans l'hémisphère Sud.
- 23) Dans les Tropiques, hors Couche Limite Atmosphérique, le géostrophisme est une approximation valide :
- A. Pour décrire les phénomènes d'échelle synoptique ;
 - B. Pour décrire les phénomènes de méso-échelle ;
 - C. Pour décrire les phénomènes d'échelle planétaire ;
 - D. Pour décrire les phénomènes d'échelle aérologique.
- 24) Le nombre sans dimension qui permet de quantifier la validité de l'hypothèse géostrophique est :
- A. Le nombre de Rossby ;
 - B. Le rapport d'aspect ;
 - C. Le nombre de Reynolds ;
 - D. Le nombre de Rayleigh.

- 25) L'épaisseur de la CLA (Couche Limite Atmosphérique) est d'environ :
- A. 1 à 10 mètres ;
 - B. 10 à 50 mètres ;
 - C. 1000 à 1500 mètres ;
 - D. 10 à 15 kilomètres.
- 26) Le frottement dans la Couche Limite Atmosphérique :
- A. Dévie le vent horizontal par rapport au vent géostrophique, vers les hautes pressions ;
 - B. Dévie le vent horizontal par rapport au vent géostrophique, vers les basses pressions ;
 - C. Dévie le vent horizontal par rapport au vent géostrophique, vers les zones de hausse de pression ;
 - D. Dévie le vent horizontal par rapport au vent géostrophique, vers la droite dans l'hémisphère Nord, vers la gauche dans l'hémisphère Sud.
- 27) Les équations quasi-géostrophiques permettent de représenter correctement les phénomènes atmosphériques pour lesquels :
- A. La flottabilité est positive ;
 - B. Le rapport d'aspect est supérieur à 1 ;
 - C. Le nombre de Rossby est très supérieur à 1 ;
 - D. Le nombre de Rossby est très inférieur à 1.
- 28) Faisons l'hypothèse que le paramètre de Coriolis f ne dépend pas de la latitude ; on peut alors montrer que la divergence du vent géostrophique est :
- A. Egale à f ;
 - B. Systématiquement positive dans l'hémisphère Nord, négative dans l'hémisphère Sud ;
 - C. Nulle ;
 - D. Systématiquement positive quel que soit l'hémisphère.
- 29) L'équation quasi-géostrophique (adiabatique) de la thermodynamique permet de montrer qu'une ascendance :
- A. Entraîne localement un refroidissement ;
 - B. N'a pas d'effet notable sur la tendance de température ;
 - C. Entraîne localement un réchauffement ;
 - D. Entraîne localement parfois un refroidissement, parfois un réchauffement, ça dépend de la situation de grande échelle.
- 30) Considérons un cyclone tropical, ayant pour dimension caractéristique sur l'horizontale $L=100$ km, avec un vent horizontal de force 50 m/s ; l'ordre de grandeur du nombre de Rossby associé à cette situation est :
- A. 0,05 ;
 - B. 0,5 ;
 - C. 5 ;
 - D. 50.

FIN DU QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLES

Deuxième exercice de météorologie générale : thermodynamique atmosphérique

Cet exercice sera traité à l'aide de l'émagramme fourni.

Note : on évalue la tension de vapeur saturante e_w par la formule de Tétens :

$$e_w(T) = 6,107 \cdot 10^{\frac{a \cdot T}{T+b}}, \text{ où la température } T \text{ est en } ^\circ\text{C}, e_w \text{ en hPa.}$$

Les constantes valent : $a = 7,5$ et $b = 237,3^\circ\text{C}$

On considère une particule d'air atmosphérique de pression 900 hPa, de température 15°C , et dont le rapport de mélange est de 8,5 g de vapeur par kg d'air sec.

a] Déterminer sa tension de vapeur, sa température du point de rosée, son humidité relative U ainsi que sa température virtuelle.

b] Evaluer sa température potentielle ainsi que sa température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé.

c] Cette particule subit une détente ; quel niveau de pression doit-elle atteindre pour être saturée ? A quel autre niveau de pression aura-t-on 2 g d'eau condensée pour 1 kg d'air sec ?

d] On suppose que la particule d'air, prise dans les conditions initiales, subit un refroidissement isobare. Quelle température devrait-elle atteindre pour l'obtention de 1 g d'eau condensée par kg d'air sec ?

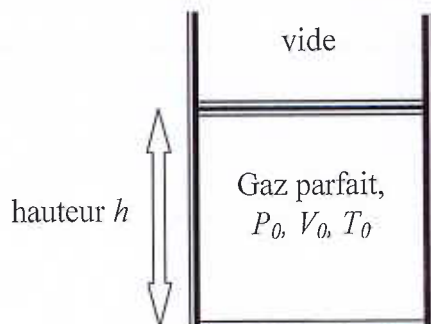
Troisième exercice de météorologie générale : thermodynamique

Un cylindre vertical à parois adiabatiques contient un gaz parfait dont on supposera le

rapport $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ indépendant de la température. (c_v est la chaleur massique à volume

constant, c_p est la chaleur massique à pression constante).

Le cylindre est placé dans le vide, la pression du gaz étant équilibrée par un piston mobile adiabatique de masse m_0 , glissant sans frottements. A l'équilibre, le piston se situe à une hauteur h . La température initiale du gaz est T_0 .



<= Piston mobile, adiabatique, de masse m_0 , glissant sans frottement.

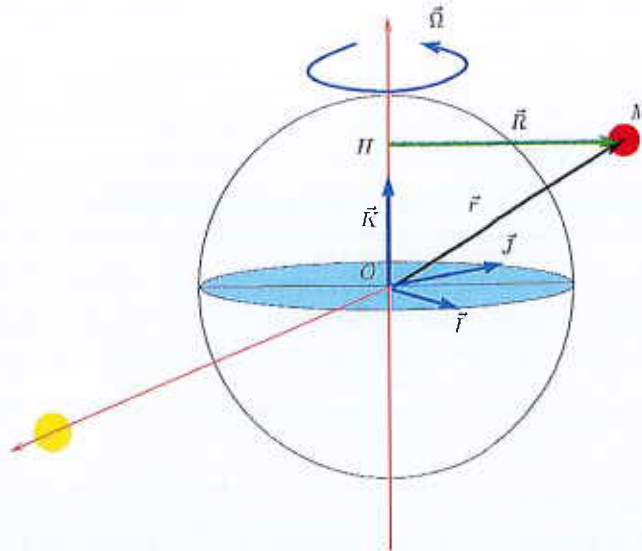
- 1) On pose sur le piston une masse m , puis on la lâche. Exprimer, en fonction des données, l'enfoncement du piston une fois l'équilibre final réalisé, ainsi que la température finale.
- 2) Même question en supposant que, partant du même état initial, on rajoute progressivement de très petites masses (transformation réversible) dont la somme est m .

Données :

- Un gaz parfait de masse m obéit à la première loi de Joule : $\Delta U = m c_v \Delta T$ (ΔU étant la variation d'énergie interne et ΔT la variation de température)
- Le premier principe de la thermodynamique relie la variation d'énergie interne d'un système thermodynamique, aux échanges de travail et de chaleur : $dU = \delta W + \delta Q$, avec $\delta W = -P_e dV$, travail des forces de pression. P_e est la pression de l'environnement du système. δQ est la chaleur reçue algébriquement par le système.
- Loi d'état des gaz parfaits : $PV = nR^* T$, où P est la pression, V le volume, n le nombre de moles de gaz, T la température et R^* la constante universelle des gaz parfaits.
- Autre écriture équivalente de la loi d'état des gaz parfaits : $PV = mRT$, où m est la masse de gaz, et R la constante du gaz parfait considéré. Par définition, $R = \frac{R^*}{M}$ où M est la masse molaire du gaz.
- Loi de Mayer pour les gaz parfaits : $c_p - c_v = R$
- Une transformation *adiabatique réversible* d'un gaz parfait est telle que PV^γ reste *constante* au cours de la transformation

DOMAINE B : METEOROLOGIE DYNAMIQUE (7 points)

Exercice 1] Equation du mouvement



On donne l'équation vectorielle du mouvement par unité de masse dans le référentiel tournant lié à la Terre (non galiléen) :

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \vec{\nabla}P - 2\vec{\Omega} \wedge \vec{V} + \vec{F}_r$$

- Préciser à quoi correspondent les différents termes qui composent cette équation.
- En toute rigueur, le terme $-2\vec{\Omega} \wedge \vec{V}$ ne correspond pas à une force ? Expliquer pourquoi.
- Développer la dérivée lagrangienne en faisant intervenir le terme d'advection (on notera u , v et w les composantes zonale, méridienne et verticale du vent)

Exercice 2] Tourbillon absolu, tourbillon relatif

En météorologie, le vecteur tourbillon relatif $\vec{\zeta}(\eta, \gamma, \xi)$ désigne le rotationnel du vent dans le référentiel tournant lié à la Terre et le vecteur tourbillon absolu $\vec{\zeta}_a$ désigne le rotationnel du vent dans le référentiel absolu galiléen.

- Exprimer les trois composantes du vecteur tourbillon relatif en fonction des trois composantes du vent (u , v et w).
- Quelle composante du tourbillon renseigne sur la rotation dans le plan horizontal ? Expliciter cette dernière relation.

c] A partir de l'équation vectorielle du mouvement, en négligeant les frottements, montrer que l'équation d'évolution du tourbillon absolu peut se mettre sous la forme suivante :

$$\frac{d\vec{\zeta}_a}{dt} = -\text{div}(\vec{V})\vec{\zeta}_a + \vec{\nabla}P \wedge \vec{\nabla}\left(\frac{1}{\rho}\right) + (\vec{\zeta}_a \cdot \vec{\nabla})\vec{V}$$

Indication : on utilisera la forme de Lamb du terme d'advection :

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla})\vec{V} = \overline{\text{grad}} \frac{\overline{V^2}}{2} - \vec{V} \wedge \overline{\text{rot}} \vec{V}$$

d] Préciser la signification physique de chaque composante de cette équation d'évolution. Vous pourrez vous aider d'un schéma.

Exercice 3] Tourbillon potentiel d'Ertel

On s'intéresse au **tourbillon potentiel d'Ertel** dont on admet l'équation d'évolution :

$$\frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{\rho} \vec{\zeta}_a \cdot \vec{\nabla} \theta \right) = \frac{1}{\rho} \vec{\zeta}_a \cdot \vec{\nabla} \frac{D\theta}{Dt} + \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} \theta \cdot \vec{\nabla} \wedge \vec{F}_r$$

On note :

$\vec{\zeta}_a$: le tourbillon absolu

θ : la température potentielle

ρ : la densité

\vec{F}_r : les frottements

u et v : les composantes horizontales du vent

P : la pression

F : le paramètre de Coriolis

a] En l'absence de frottement, vérifier que l'équation d'évolution se réduit à :

$$\frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{\rho} \vec{\zeta}_a \cdot \vec{\nabla} \theta \right) = g \left(-\frac{\partial \dot{\theta}}{\partial P} (\xi + f) + \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial P} - \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial P} \right)$$

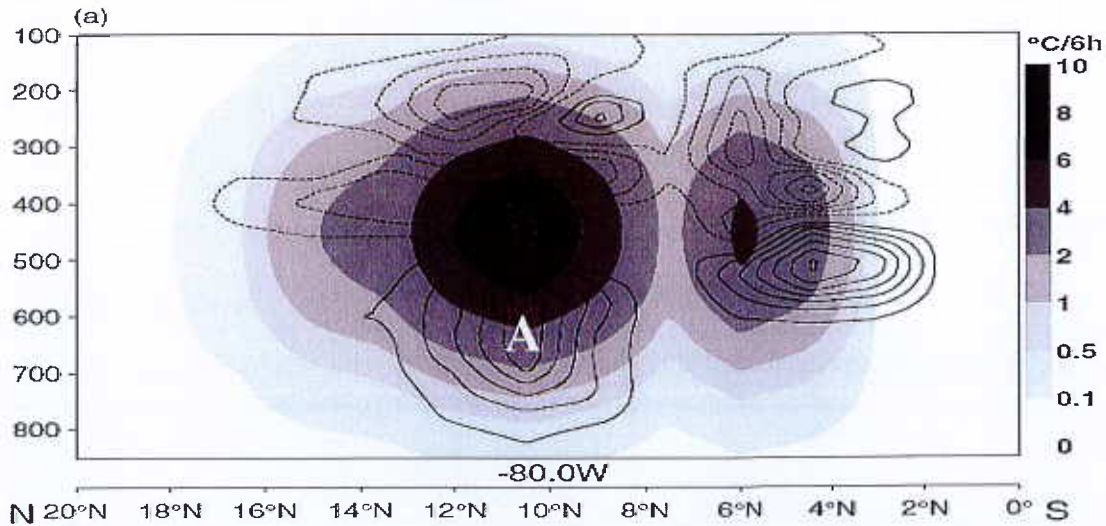
$\dot{\theta} = \frac{D\theta}{Dt}$ désigne les effets diabatiques.

On utilisera les coordonnées isobares et on négligera la vitesse verticale.

b] En déduire, qu'en l'absence de variation du vent horizontal sur la verticale,

l'équation d'évolution devient $\frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{\rho} \vec{\zeta}_a \cdot \vec{\nabla} \theta \right) = -g \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial P} (\xi + f)$

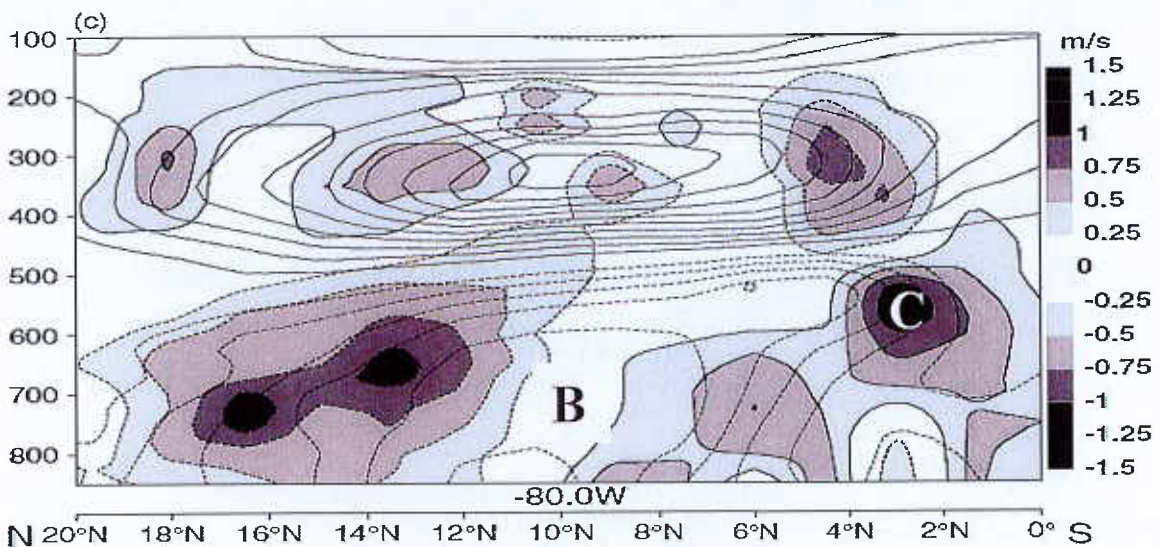
c] D'après l'équation d'évolution du tourbillon potentiel étudiée dans la question précédente, analyser la structure des deux coupes verticales ci-après montrant **la réponse de l'atmosphère à un chauffage diabatique** associé à de la convection intense.



La figure, ci-dessus représente, une coupe verticale en coordonnée pression dans la direction méridienne à l'intérieur d'une zone de chauffage diabatique.

- chauffage diabatique (isocontour en $^{\circ}\text{C}/6\text{h}$)
- anomalie de tourbillon potentiel (isoligne)

Quel est le signe de l'anomalie de tourbillon potentiel au point A situé sous la zone de chauffage Justifiez.



La figure, ci-dessus représente, une coupe verticale dans la direction méridienne à l'intérieur d'une zone de chauffage diabatique.

- vent normal au plan de coupe (isocontour en m/s)
- géopotential issu de l'anomalie de tourbillon potentiel (isoligne)

Quel est le signe de l'anomalie de géopotential au point B situé sous la zone de chauffage ?
 Quel est le signe du vent normal au plan de coupe au point C ? Justifiez.

d) Quelle est l'unité (SI) du tourbillon potentiel ? Donner une valeur typique du tourbillon potentiel en moyenne troposphère. D'après ce qui précède, comment peut-on justifier les fortes valeurs de tourbillon potentiel observées en moyenne stratosphère ?

DOMAINE C : COUCHE LIMITE (6 points)

Exercice 1 :

Les trois composantes $u(t)$, $v(t)$ et $w(t)$ du vent instantané et la température potentielle de l'air $\theta(t)$ ont été mesurées dans la couche limite de surface toutes les 10 minutes et sont données dans le tableau ci-dessous :

$u(t)$ (m/s)	1,30	1,35	0,95	0,60	0,85	1,60	1,10	1,05	0,90	1,25
$v(t)$ (m/s)	0,15	0,45	0,40	0,10	0,80	0,15	0,85	0,05	0,25	0,50
$w(t)$ (m/s)	0,24	0,40	0,68	0,40	0,80	0,04	0,80	0,04	0,20	0,60
$\theta(t)$ (°C)	10,93	10,95	11,00	11,05	11,06	11,06	11,05	11,00	10,95	10,93

- 1) Calculer l'énergie cinétique turbulente $e(t)$ aux différents instants t .
- 2) Représenter sur un graphe $e(t)$ en fonction de t . Qu'observe-t-on ?
- 3) Donner une valeur approchée de $\frac{\partial e(t)}{\partial t}$ pour chaque intervalle de temps.
- 4) Calculer le flux cinématique de chaleur aux différents instants t .
- 5) Rappeler les principaux termes qui composent l'équation d'évolution de l'énergie cinétique turbulente $e(t)$.
- 6) Tracer $\frac{\partial e(t)}{\partial t}$ et le terme de production thermique sur un même graphe. En déduire quelle peut être la source principale d'énergie cinétique turbulente.

Exercice 2 :

L'équation d'évolution de la concentration $C(x,y,z,t)$ d'un gaz dans la couche limite atmosphérique s'écrit $\frac{dC}{dt} = -\eta C + \nu_c \Delta C$ où ν_c est le coefficient de diffusion moléculaire du gaz et η caractérise le taux de disparition des molécules de gaz. Ces deux coefficients sont positifs. On rappelle que dans le système de Boussinesq $\text{div}(\vec{U}) = 0$, \vec{U} étant la vitesse du vent.

- 1) Donner l'allure des profils verticaux de concentration en gaz émis en surface, de jour et de nuit en justifiant la réponse.
- 2) Etablir l'équation d'évolution de la concentration moyenne \bar{C} .
- 3) En supposant une atmosphère homogène horizontalement, simplifier l'équation obtenue en 1).
- 4) Identifier les flux turbulents et proposer une fermeture du premier ordre.
- 5) Trouver et résoudre l'équation différentielle dont \bar{C} est solution.

