

MU065 Dynamique de l'Atmosphère

TD N°5: Ondes baroclines

I Onde équivalente-barotrope dans jet d'ouest

Le géopotentiel associé à une onde est de la forme :

$$\phi = \phi_0(P) - U f_0 y \left(1 + \cos \frac{\pi P}{P_0} \right) + V \frac{f_0}{k} \sin k(x - ct) \quad (1)$$

Les constantes U , V et c sont homogènes à des vitesses, k est le nombre d'onde, $P_0=1000$ hPa et $f = f_0 + \beta y$ est le facteur de Coriolis.

1. Donner la forme du vent géostrophique $\vec{V}_g = (u_g, v_g)$. Comment varie $\vec{V}_g$ avec P ? Représenter l'écoulement sur une coupe horizontale, et sur une coupe verticale ($x - z$). Indiquer la forme des isobares, et le signe des anomalies de ϕ et v_g .
2. Calculer la vorticité relative ζ_g . Indiquer le signe de ζ_g sur le schéma.
3. En utilisant l'équilibre hydrostatique, trouver la structure de température associée à l'onde. Indiquer la position des anomalies de T . A quel niveau sont-elles maximales? L'équilibre du vent thermique est-il vérifié?
4. Calculer l'évolution de la vorticité absolue par advection de la vorticité relative ($-(\vec{V}_g \cdot \vec{\nabla})\zeta$) et planétaire ($-\beta v_g$). Indiquer les régions d'advection positive et négative. Comment varie l'advection avec P ?
5. Calculer l'évolution de la température par advection horizontale. Indiquer les régions d'advection positive et négative. L'évolution de T et celle de ζ sont-elles compatibles avec la maintenance de l'équilibre du vent thermique?
6. En utilisant l'équation de la vorticité, calculer la divergence horizontale du vent.
7. L'équation de la température peut s'écrire pour des conditions adiabatiques :

$$\frac{d_g}{dt} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial P} \right) = \omega \sigma \quad (2)$$

Où σ est un paramètre représentant la stabilité verticale, et $-\frac{\partial \phi}{\partial P}$ est proportionnel à T . En déduire la valeur de la vitesse verticale ω .

8. Sous quelles conditions pour U , V , c et k les valeurs de ω et de la divergence horizontale sont-elles compatibles ?
9. montrer que la vitesse de propagation de l'onde est celle d'une onde de Rossby au niveau où la divergence horizontale est nulle.
10. Représenter la circulation agéostrophique dans le plan $(x - z)$. Quel est l'effet de cette circulation sur l'évolution de T et ζ_a à différents niveaux de pression ? Montrer qu'elle tend à maintenir l'équilibre du vent thermique.
11. Application numérique : on a $U=25 \text{ m.s}^{-1}$, $V=3 \text{ m.s}^{-1}$, $f_0=10^{-4} \text{ s}^{-1}$, $\beta=2.10^{-11} \text{ m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, et $\sigma=2.10^{-6} \text{ Pa}^{-2}.\text{m}^2.\text{s}^{-2}$. Calculer la longueur d'onde $\frac{2\pi}{k}$, la vitesse de propagation c , et l'amplitude de la vitesse verticale ω .

II Décalage vers l'ouest et croissance des anomalies

On considère le cas suivant : l'écoulement moyen est un vent d'ouest maximum dans les hautes couches de la troposphère et faible à la surface. Il est en équilibre avec un gradient de température méridien. A cet écoulement moyen se superpose une onde présentant des anomalies alternées dans la direction ouest-est. Ces anomalies (ϕ , v_g , ζ ...) se décalent vers l'ouest avec l'altitude, et sont en quadrature de phase entre la surface et la tropopause.

1. Faire un schéma de l'onde sur une coupe $(x - z)$: placer les régions de vorticité relative positive et négative à la surface et à la tropopause.
2. Indiquer les régions où l'advection de vorticité est positive ou négative. L'advection différentielle entre la tropopause et la surface entraîne une circulation agéostrophique qui maintient l'équilibre du vent thermique. Représenter la vitesse verticale (signe et position suivant x). Quel est l'impact de cette circulation secondaire à la surface et à la troposphère ?
3. Indiquer les régions où l'advection de T est positive ou négative. L'advection de T entraîne une circulation agéostrophique qui maintient l'équilibre du vent thermique. Représenter la vitesse verticale. Quel est l'impact de cette circulation secondaire à la surface et à la troposphère ?
4. A quelle vitesse se propage l'onde par rapport à une onde de Rossby non-divergente, à la surface et à la tropopause ?
5. Montrer que la circulation agéostrophique va amplifier l'onde.