

Exercice n° HG 0306

Formation des nuages - Etude des mouvements verticaux d'un volume d'air grâce à l'émagramme

Avant propos :

En météorologie on utilise un graphique appelé émagramme (figure 1) pour représenter les différentes valeurs de pression, de température et d'humidité de l'air issues d'un radiosondage vertical. C'est un imprimé sur lequel figure un ensemble de droites et de courbes permettant de représenter graphiquement à la fois l'état physique (pression, température, humidité) et les transformations, d'une particule atmosphérique. L'émagramme est une représentation graphique des lois physiques et thermodynamiques, à savoir :

- la variation de pression avec l'altitude : loi de Laplace ;
- la variation de température avec l'altitude : 1°C par 100 mètres pour l'air non saturé en vapeur d'eau, moins de 1°C par 100 mètres pour l'air saturé ;
- la variation d'humidité en altitude : voir les définitions de " l'humidité relative " et du " rapport de mélange ".

Difficile à lire et à comprendre, l'émagramme regorge de nombreux paramètres liés à la température (axe des abscisses) et à la pression + l'altitude (axe des ordonnées). Il a cependant l'avantage de permettre des calculs rapides.

Questions :

Une particule atmosphérique A se trouve à une température de 20°C et une pression de 1000 hPa, avec un rapport de mélange de 10 g/kg. D'après l'émagramme et la table de la pression de vapeur d'eau saturante fournis ci-dessous, on vous demande de répondre aux questions suivantes

Question 1. Déterminer, à l'aide de l'émagramme ci-contre, la valeur de r_w de la particule en g/kg à 1000 et l'humidité relative U (en %) à ces mêmes niveaux

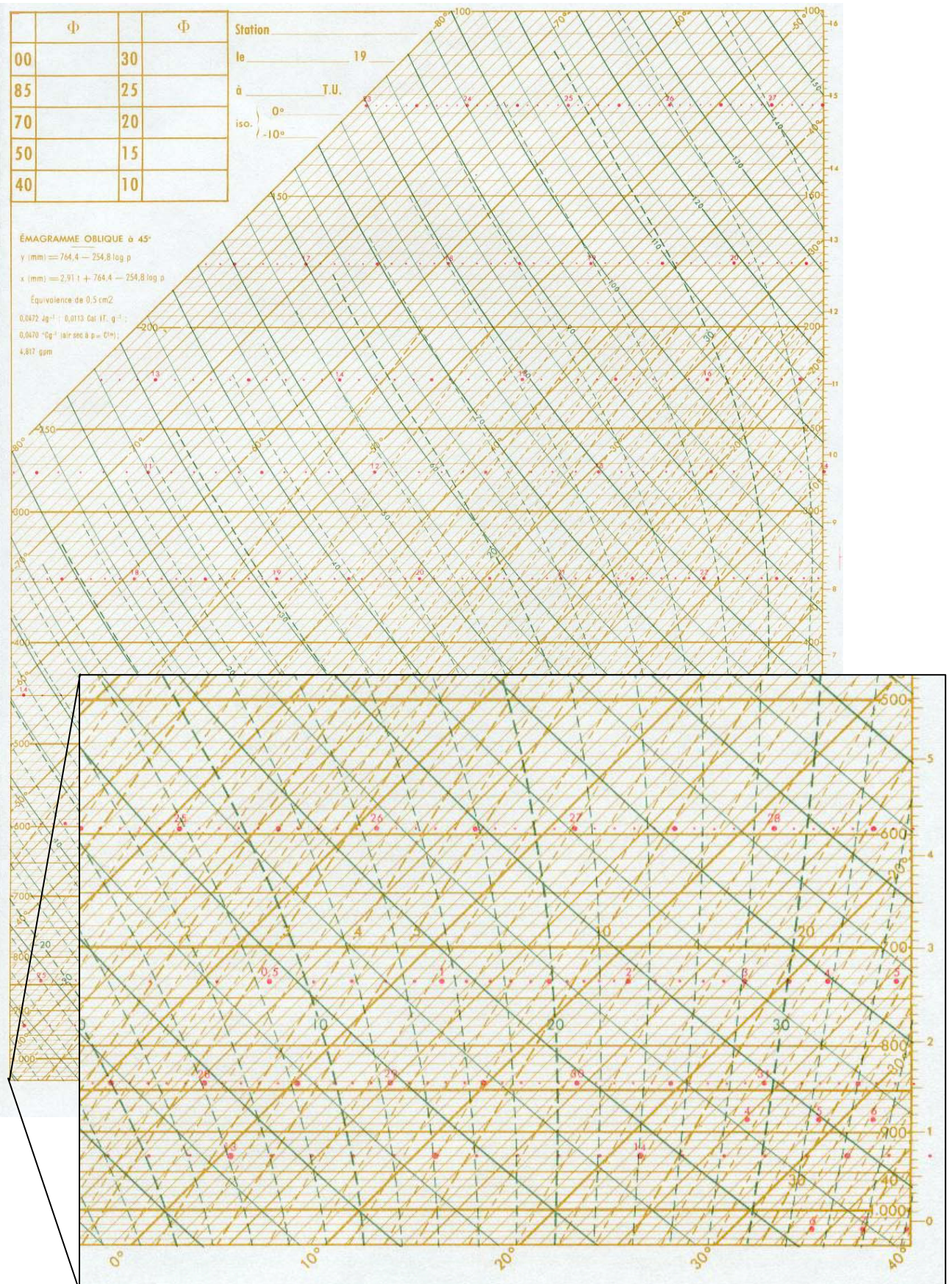
Question 2. En considérant qu'il n'y a jamais perte ou gain d'eau au cours des transformations (le rapport de mélange reste constant), déterminer le point de condensation A_c ainsi que sa valeur de r_w en g/kg, la température de la particule en $^{\circ}\text{C}$ en ce point et la pression en hPa.

Question 3. Si l'on pousse l'ascension de la particule de départ jusqu'à 700 hPa, quelle quantité d'eau se sera transformée en gouttelettes par unité de masse d'air sec à la fin de la transformation ?

Question 4. En supposant que les conditions permettent que toute l'eau condensée précipite, évaluer la lame d'eau précipitée sur le territoire en-dessous si la couche d'air en question a une épaisseur de 500 m (utiliser la loi des gaz parfaits).

Données de l'exercice :

On dispose d'un émagramme et de rappels sur ses différentes caractéristiques.



Rappel 1 - l'énamgramme

Signification des différents types de lignes de l'énamgramme :

- Les lignes de **couleur bistre** permettent de caractériser l'état d'une particule d'air (Température, Pression, Humidité)
 - Les **isobares** sont des droites de couleur bistre. Les isobares sont cotées en hectopascals (hPa) sur les bords droit et gauche de l'énamgramme (voir extrait d'énamgramme ci-contre). Une isobare est tracée tous les 10 hPa. Les isobares multiples de 50 sont renforcées par un trait plus épais. En marge droite de l'énamgramme figure la correspondance entre pression et altitude, en atmosphère type. Les altitudes sont cotées en milliers de mètres. Un repère a été marqué tous les 100 mètres.
 - Les **isothermes** sont figurées par des droites de couleur bistre inclinées à 45°. Elles sont cotées en °C sur les bords droit et gauche, et dans la marge inférieure de l'énamgramme. Une isotherme est tracée tous les degrés ; les multiples de 5 sont renforcées
 - L'**humidité** figure sur l'énamgramme par l'intermédiaire du rapport de mélange r (rapport entre la masse de vapeur d'eau et la masse d'air sec constituant un volume d'air humide). Les lignes d'égal rapport de mélange (que nous appellerons iso- r) sont, sur l'énamgramme, des droites obliques en pointillé bistres inclinées à environ 55° par rapport à l'horizontale. Certaines d'entre elles sont renforcées et elles sont cotées en g / kg (grammes de vapeur d'eau par kg d'air sec).
- Les lignes de **couleur verte** permettent de définir l'évolution probable de cette particule pendant ses différents mouvements (ascendant ou descendant).
 - Les **lignes vertes continues**, aussi appelées pseudo-adiabatiques sèches sont utilisées lorsque la particule n'est pas saturée, c'est à dire que sa température est supérieur à la température du point de rosée (T_d).
 - Les **lignes vertes pointillées**, aussi appelées pseudo-adiabatique saturée sont utilisées lorsque la particule est saturée.

Nota : Adiabatique signifie sans échange de chaleur

Rappel 2 – Valeurs et points caractéristiques

Pour identifier une particule d'air on représente son point d'état et son point de rosée dans l'émagramme :

- **Point d'état.** Pour identifier une particule d'air, on représente son point d'état qui se trouve à l'intersection de sa Pression et de sa Température, on le représente sur l'émagramme par un point.
- **Point de rosée.** Le point de rosée d'une particule d'air se trouve à l'intersection de sa Pression et de sa Température du point de rosée notée T_d (température qui correspond au phénomène de saturation par refroidissement à pression constante). C'est aussi le point défini par l'intersection de l'isobare et de l'iso- r . On le représente sur l'émagramme par une croix.

Certaines valeurs et points caractéristiques peuvent être déduites de l'émagramme :

- **Point de condensation :** C'est le point au-delà duquel il y a condensation à la suite d'un soulèvement (i.e. diminution de pression) de la particule. La particule est donc saturée en vapeur d'eau ($T=T_d$). Si elle est soulevée au-dessus de ce point, l'excédent de vapeur d'eau se condense. Le point de condensation se trouve à l'intersection de la pseudo adiabatique sèche passant par le point d'état et de la ligne d'égale rapport de mélange passant par le point de rosée ($r = r_w$). On note le point de condensation par un point entouré d'un cercle.
- **Rapport de mélange r :** rapport entre la masse de vapeur d'eau et la masse d'air sec constituant un volume d'air humide. A partir de l'émagramme, la méthode de détermination de r consiste à partir du point de rosée de relever la valeur de la ligne tiretée (ligne d'égaux rapports de mélange) passant par ce point.
- **Rapport de mélange saturant r_w :** La recherche est identique que pour le rapport de mélange mais l'on prend comme référence non plus T_d mais T car pour que la particule soit saturée il faut $T=T_d$.