Travaux dirigés Mouvements des Enveloppes fluides

Structure verticale de la troposphère
Convection

Vincent Daniel

15-16 Juin 2000

1 Tracé d'un radiosondage

1.1 Enregistrement d'un radiosondage

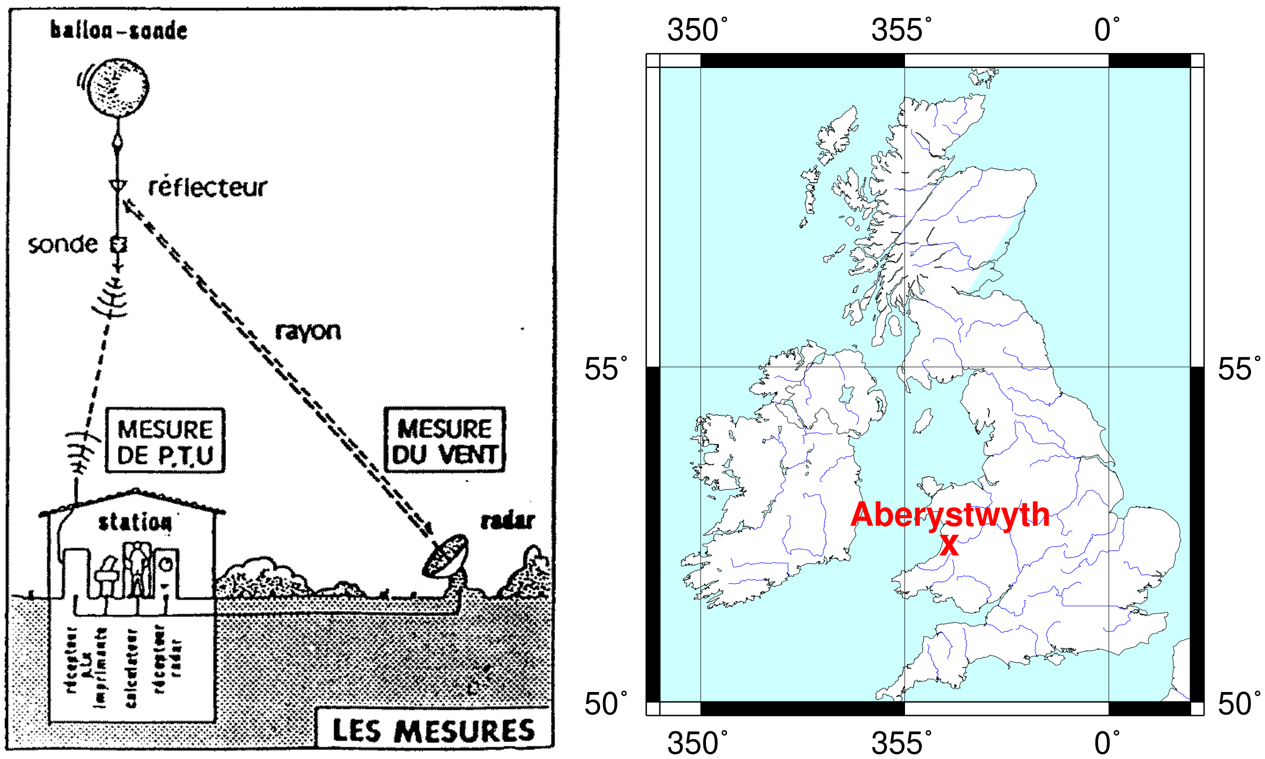

FIG. 1 – *Dispositif expérimental pour l'aquisition d'un radisosondage à Aberystwyth*

1.2 Les données du radiosondage

temps (secondes)	**altitude** (mètres)	**pression** (hPa)	**température** (°C)	**humidité** (g/kg)
0	0	1019.92	6.12	4.58
82	250	987.60	3.06	3.78
153	500	957.46	0.58	3.70
256	750	927.98	-1.34	3.41
392	1000	899.17	-3.34	2.77
510	1250	871.07	-5.07	2.51
637	1500	843.78	-6.66	2.37
718	1750	817.14	-8.56	2.25
819	2000	791.14	-10.25	2.04
932	2250	765.82	-12.31	1.77
1052	2500	741.00	-13.60	1.61
1261	2750	716.98	-16.32	0.60
1378	3000	693.49	-17.41	0.53
1489	3250	670.60	-18.70	0.37
1612	3500	648.38	-20.40	0.20
1742	3750	626.82	-21.84	0.18
1900	4000	605.72	-23.39	0.18
2083	4250	585.36	-25.21	0.12
2240	4500	565.54	-25.60	0.03
2369	4750	546.35	-27.38	0.04
2500	5000	527.53	-29.71	0.07

TAB. 1 – *Données expérimentales interpolées tous les 250m.*

1.3 Le tracé des données du radiosondage

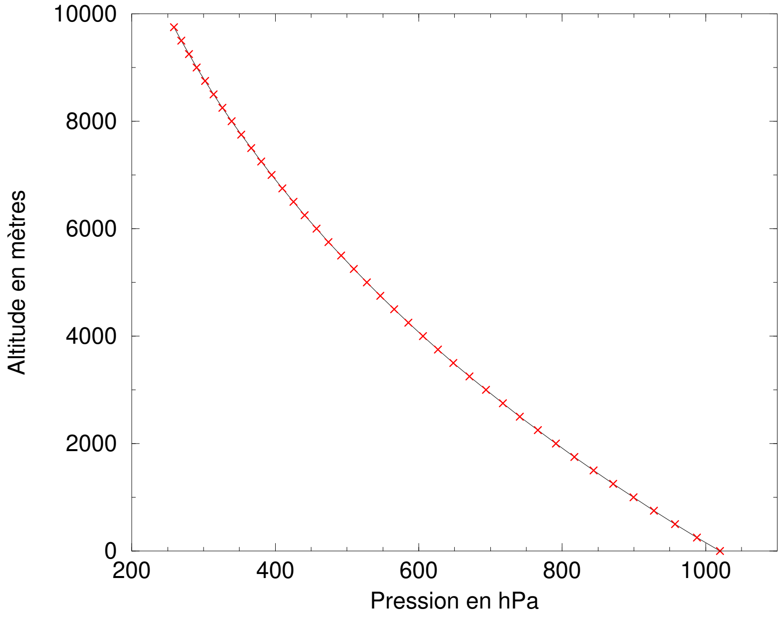

FIG. 2 – *Pression en fonction de l'altitude*

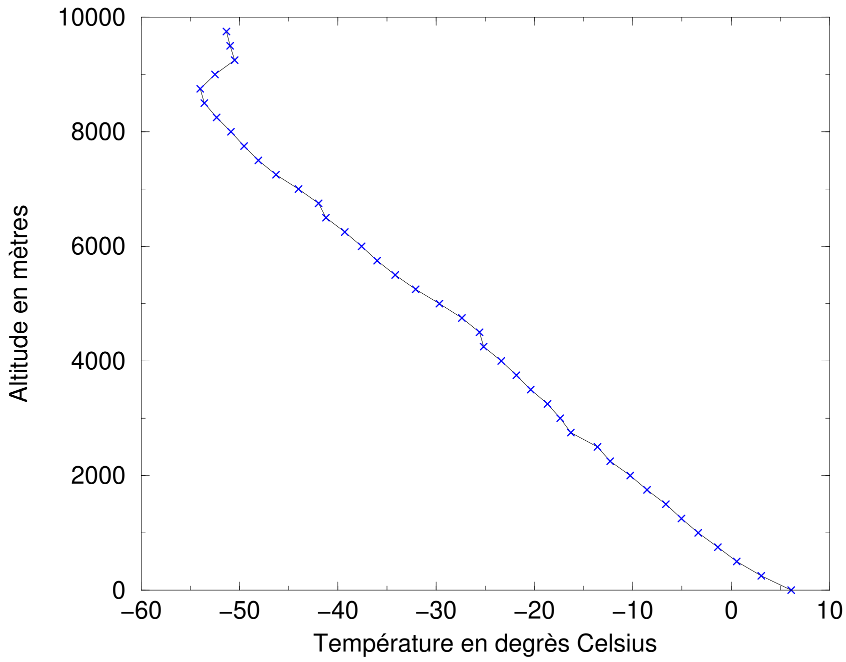

FIG. 3 – *Température en fonction de l'altitude*

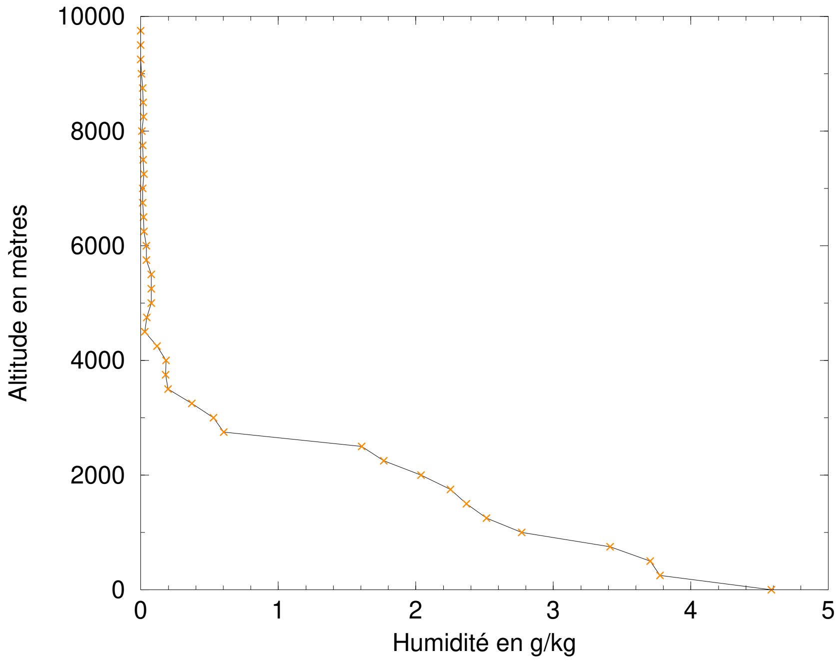

FIG. 4 – *Humidité en fonction de l'altitude*

1.4 Problématique et objectifs

Essayer d'expliquer simplement :

- La décroissance de la pression en fonction de l'altitude.
- La décroissance de la température avec l'altitude.
- La décroissance du contenu en vapeur d'eau avec la température.

2 Décroissance de la pression avec l'altitude

La pression en un point d'un fluide est la mesure du poids de la colonne de fluide située au dessus. Une différence de pression entre 2 points situés à la verticale l'un de l'autre (ou n'importe si le fluide est au repos) est donnée par la loi de l'hydrostatique :

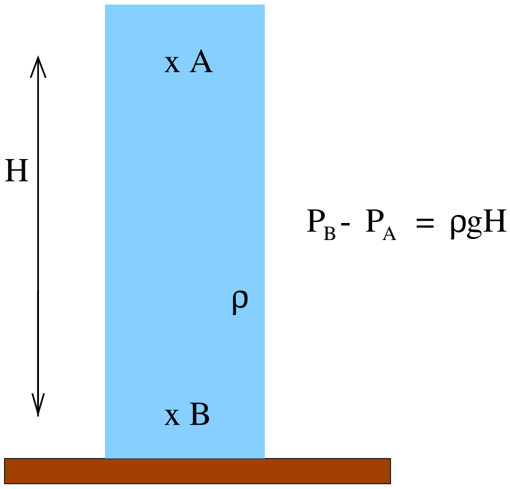

Fig. 5 – *Loi de l'hydrostatique*

On considère une atmosphère isotherme à la température de surface du radiosondage ($T = 6.12°C$).

- *question 1:* A l'aide de la loi des gaz parfaits exprimée pour l'air, calculez la masse volumique de l'air en kg/m^3 pour le premier point du radiosondage.

$$P = \rho \times 287 \times (T + 273) \qquad avec \left\{ \begin{array}{lll} P & : & Pression\ en\ Pascal \\ \rho & : & Masse\ volunique\ en\ kg/m^3 \\ T & : & Temperature\ en\ Celsius \end{array} \right. \tag{1}$$

- *question 2 :* En appliquant la loi de l'hydrostatique, remplissez la colonne **Q2** du tableau 2.

altitude (mètres)	**pression Q2** (Pa)	**pression Q3** (Pa)	**Pression mesurée** (Pa)
0	101992	101992	101992
500			95746
1000			89917
1500			84378
2000			79114

Tab. 2 – *Calculs de la pression pour une atmosphère isotherme.*

- *question 3 :* Le calcul fait à la question précédente n'est pas rigoureux puisque même dans une atmosphère isotherme, la masse volumique varie avec l'altitude puisque la pression varie.
  La formule donnant la pression en fonction de l'altitude est la suivante :

$$P = P_{z=0} \times \exp^{-\frac{gz}{287 \times (T+273)}} \tag{2}$$

  Remplissez la colonne **Q3** du tableau 2.

- *question 4 :* Comparez les pressions obtenues avec les 2 méthodes aux données expérimentales.

- *question 5 :* Pouvez-vous expliquer le fonctionnement d'un altimètre?

- *question 6 :* Pouvez-vous expliquer le fonctionnement d'un baromètre?

- *question 7 :* A l'aide de la formule 2, évaluez la pression partielle de dioxygène au sommet du Mont-Blanc si la température à Chamonix est de $10°C$ et la pression de $900hPa$ (on utilisera la formule 2).

3 Décroissance de la température avec l'altitude

On considère une particule de fluide sphérique de rayon r, de température T_p dans un environnement plus froid à la température T_{ext} telle que :

$$T_p \geq T_{ext}$$

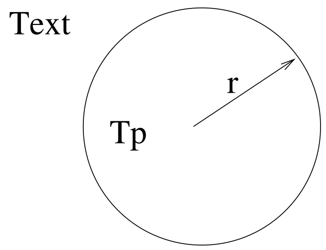

FIG. 6 – *Parcelle chaude dans un environnement froid*

- *question 8 :* Faites un inventaire des forces qui s'appliquent sur la particule chaude.
- *question 9 :* Montrez que la résultante des 2 forces entraine la particule vers le haut.
- *question 10 :* Lorsque la particule s'élève, sa pression diminue afin d'être en équilibre avec le fluide environnent. La température d'un fluide peut être interprétée comme une mesure de l'agitation des molécules. Dans quel sens la température varie la température de la parcelle lors de son élévation?
- *question 11 :* Pourquoi des particules atmosphérique au voisinage du sol peuvent être chauffées de la sorte?

Ce phénomène est appelé convection et garantit le refroidissement des basses couches de l'atmosphère. En l'absence de ce phénomène dynamique, la température de surface de la Terre (en incluant l'effet de serre avoisinerait les 35°C).
Quand l'air ne contient pas de vapeur d'eau (air sec), la convection maintient un gradient d'environ $-1°C/100m$

- *question 12 :* Dans cette hypothèse, calculez la température en haut du Mont-Blanc pour une température à Chamonix de $+7°C$.

4 Etude du contenu en vapeur d'eau

On mesure le contenu en vapeur d'eau d'une parcelle d'air atmosphérique en donnant son rapport de mélange, c'est à dire la masse de vapeur d'eau contenue dans une parcelle d'un kg d'air sec. Ce rapport est souvent exprimé en g/kg :

$$r = \frac{Masse\ vapeur\ d'eau}{Masse\ air\ sec} \qquad (3)$$

Quand une particule d'air humide se refroidit, son contenu en vapeur d'eau reste constant jusqu'à une température T_c où les premières gouttelettes d'eau liquide apparaissent (cf figure 8). Il s'agit par exemple

de la condensation de l'eau sur une vitre froide (buée).
Lorsque de l'air humide se refroidit jusqu'à la température T_c, il se refroidit comme de l'air sec. **La parcelle qui s'élève suit la courbe en trait continu épais sur le graphique**.

Lorsque l'air humide se refroidit en dessous de T_c, on dit que l'air est saturé en vapeur d'eau et il se refroidit plus lentement. **La parcelle qui s'élève suit la courbe en traits pointilles sur le graphique**. Dans ce cas, la valeur du gradient de température est de $-0.65°C/100m$

- *question 13 :* Pouvez vous expliquer pourquoi l'air se refroidit plus lentement lorsqu'il est saturé?.
- *question 14 :* Reprenez la question 11 dans le cas d'une atmosphère saturée depuis le sol.

5 Application : Le brouillard à l'aube

On se situe à une pression de $1000hPa$. Le soir, la température est de $10°C$ et le contenu en vapeur d'eau est de $r = 4g/kg$.

- *question 15 :* Quelle est la température maximale au levée du jour qui permet d' observer l'apparition de brouillard?.

6 Application : Le cumulonimbus

On se place en un point de la surface où la pression est de $900hPa$. La température est de $15°C$ et le contenu en vapeur d'eau est de $r = 6g/kg$.
Ce point en surface est plus chaud que son environnement.

- *question 16 :* Est on à saturation à la surface?.
- *question 17 :* Le long de quelle courbe se fait le début de l'élévation de la parcelle?. Tracez la sur le graphique.
- *question 18 :* A quelle altitude se situe la base du nuage?
- *question 19 :* Selon vous, quelles sont les conditions pour qu'il pleuve?

7 Application : L'effet de foehn

L'effet de foehn caractérise la situation météorologique décrite sur la figure 7. Un flux humide arrive sur le versant d'une montagne. On observe alors des précipitations intenses sur le versant "au vent" et un temps sec et chaud sur le versant "sous le vent".
A Courmayer, souffle un vent d'Est humide. La pression est de $880hPa$, la température de $13°C$ et l'humidité de $8g/kg$..
Le vent d'Est impose à l'air de franchir le Mont-Blanc où la pression est de $550hPa$.

- *question 20 :* Dessinez sur le graphique la trajectoire d'une parcelle partant de Couramayer.
- *question 21 :* Dessinez sur le graphique sa trajectoire lorsqu'elle descend sur Chamonix si l'on considère que toute l'eau liquide de la parcelle a précipité avant son passage au sommet..
- *question 22 :* A Chamonix, la pression est de $900hPa$. Calulez la température et l'humidité. Concluez.

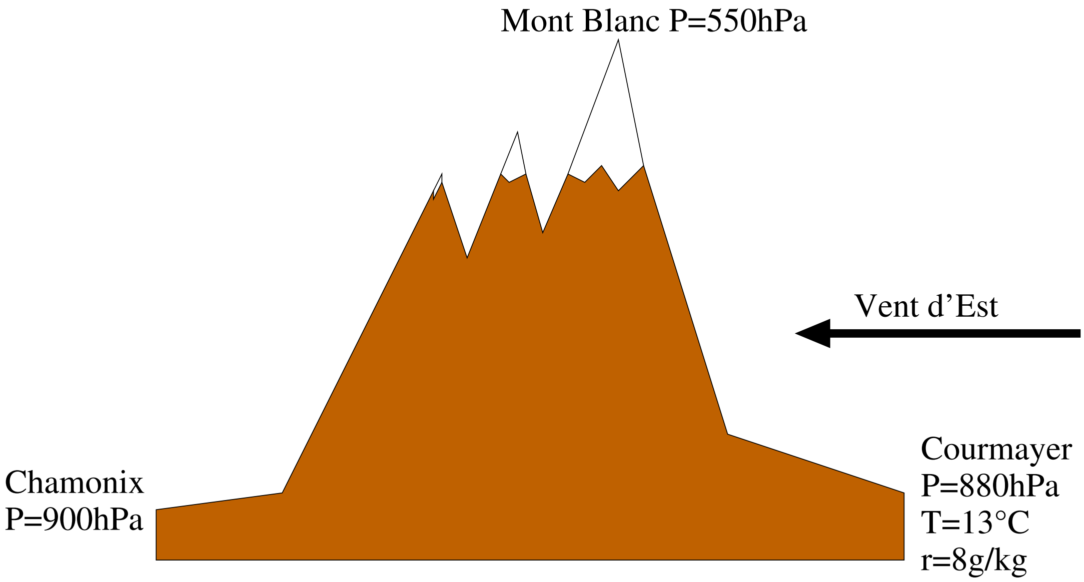

FIG. 7 – *Effet de foehn sur la Haute-Savoie*

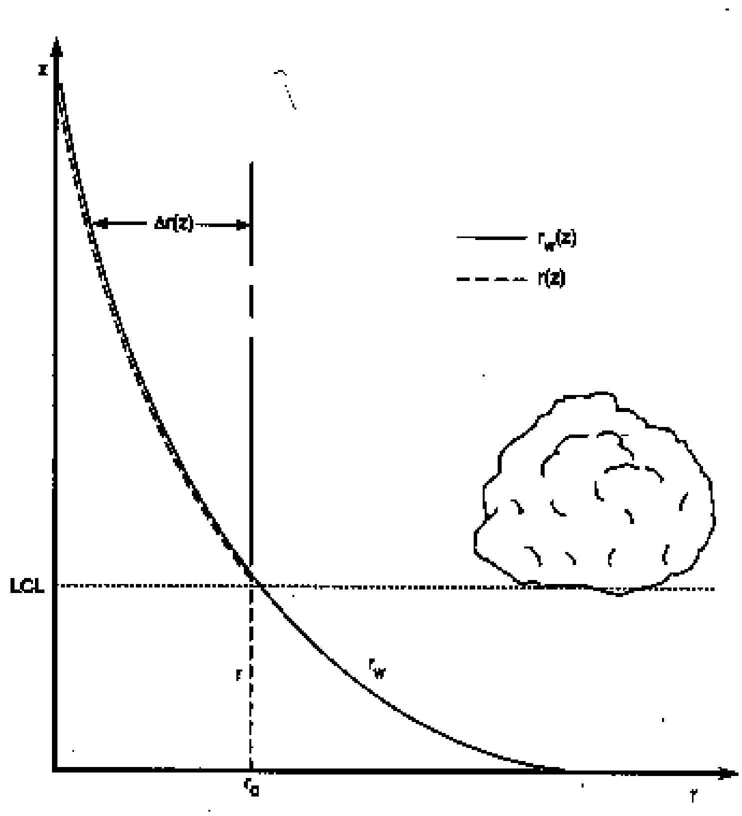

FIG. 8 – *Evolution du contenu en vapeur d'eau d'une parcelle*