

Physique de l'atmosphère : Thermodynamique de l'atmosphère

Diagrammes aérologiques

Il est fort utile de représenter l'état de l'air ou les processus thermodynamiques subis par l'air au moyen de diagrammes thermodynamiques pour traduire le résultat d'observations aussi bien que pour décrire divers phénomènes atmosphériques.

Les **PARAMÈTRES AISÉMENT MESURABLES** sont :

- la **température**,
- la **pression** de l'air et
- l'**humidité**.

D'autre part les **TRANSFORMATIONS THERMODYNAMIQUES** subies par l'air sont le plus souvent assimilables à

- des **transformations isobares** (mouvements horizontaux) ou à
- des **transformations adiabatiques** (mouvements verticaux).

Il est donc indiqué d'avoir recours à des diagrammes où l'un des **axes** porte la valeur de la **température** et l'autre, une **fonction de la pression ou de l'entropie**.

Téphigramme

Le téphigramme est un diagramme aérologique dont les coordonnées sont T sur l'abscisse et $\ln \theta$ sur l'ordonnée. Il a été conçu par Sir William Napier Shaw en 1915.

Puisque,

$$s = c_{pd} \ln \theta + cte$$

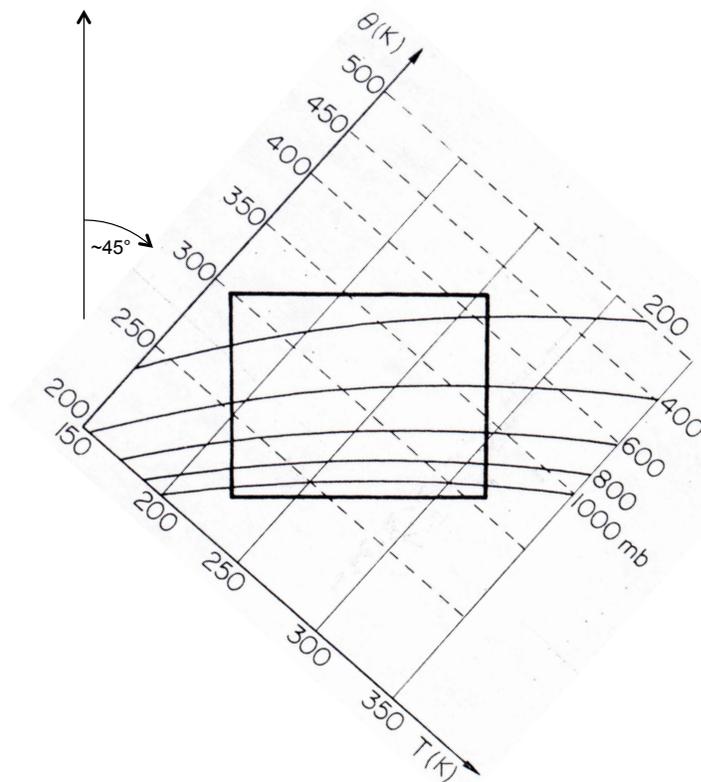
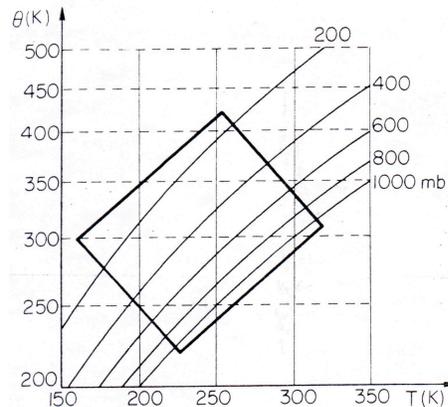
le téphigramme peut alors être considéré comme un diagramme aérologique dans les coordonnées s vs T .

De la définition de température potentielle, $\theta = T(p/p_0)^{-\chi}$, on a que

$$(\ln \theta) = \ln T - \chi \ln p + cte$$

Les isobares sont des courbes logarithmiques dans un téphigramme.

La partie encadrée représente la surface couverte par un téphigramme.



Théphigramme : Équivalence énergie - surface

Puisque, $\delta q = T ds$, pour un cycle réversible on obtient que

$$q = \oint T ds = c_p \oint T d \ln \theta = c_p \sum \text{téphi}$$

lorsque $\sum \text{téphi}$ représente la surface du théphigramme déterminée par le cycle considéré (positif dans le sens contraire des aiguilles d'une montre).

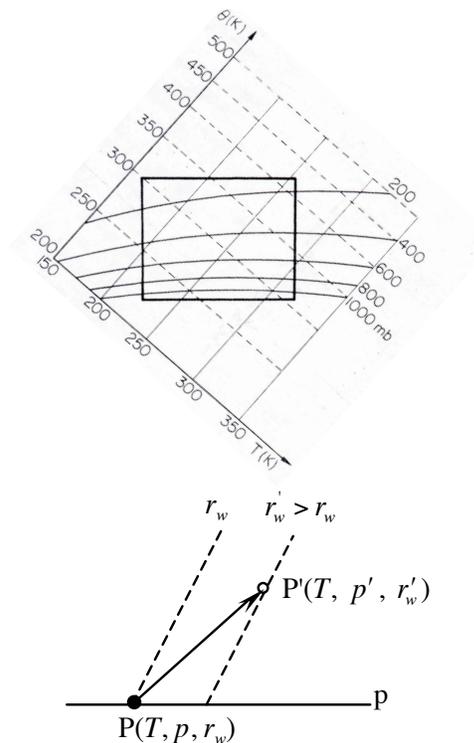
Théphigramme : Orientation des lignes fondamentales

Lignes d'équisaturation

$$r_w(T, p) = 0.622 \frac{e_w(T)}{p - e_w(T)}$$

Si on solutionne $r_w(T, p) = r_0 = cte$, on obtient l'ensemble d'états $\{(T, p)\}$ pour lesquels une masse d'air humide dont le rapport de mélange égale r_0 se trouve à la valeur d'équilibre.

Si $T = cte$ et $p \downarrow$, $r_w \uparrow$.

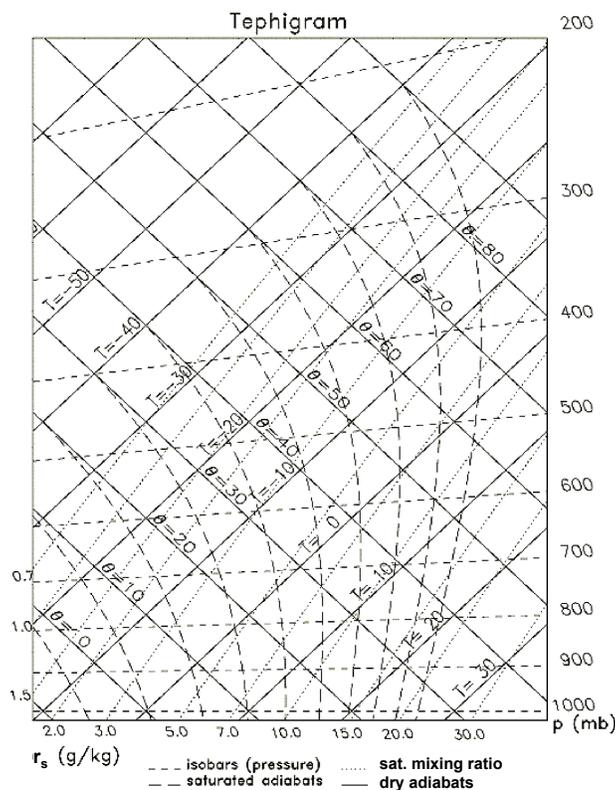
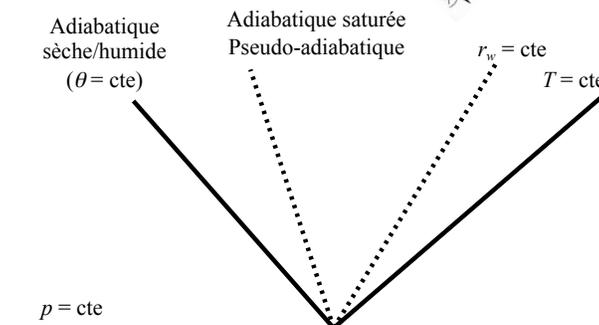
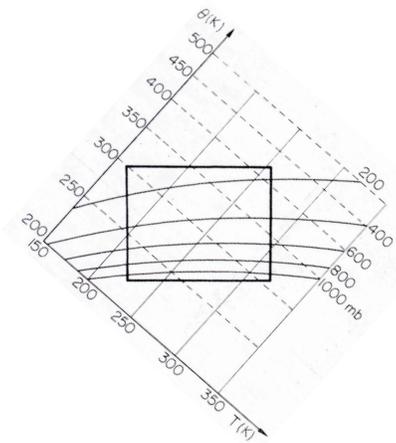


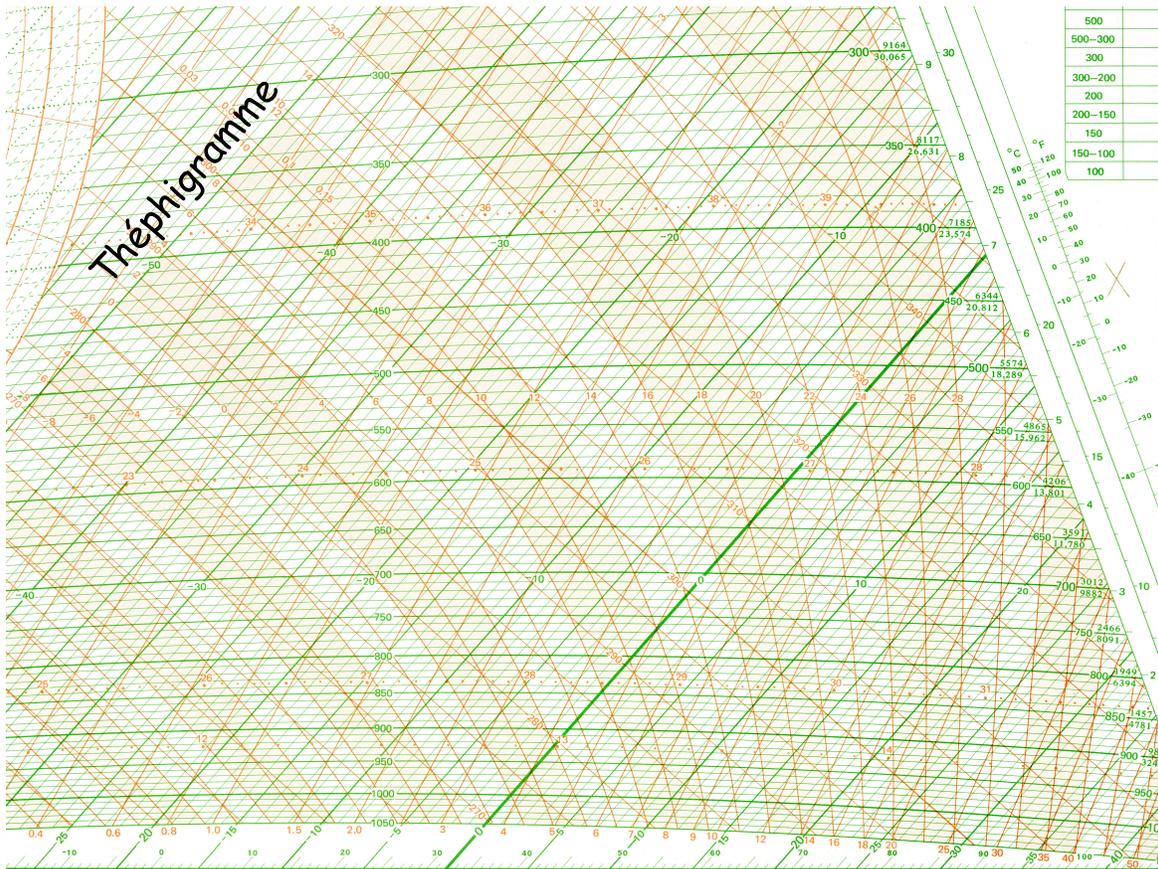
Pseudoadiabatiques

Considérons maintenant un soulèvement adiabatique d'une masse d'air saturé ($r = r_w$). Puisque la pression et la température diminuent, la vapeur d'eau en surplus se condense afin de garder l'air à saturation. Durant ce processus, il y a dégagement de chaleur latente qui est absorbée par l'air. Pour cela, la masse d'air en soulèvement adiabatique avec condensation se refroidit moins que dans le cas d'un soulèvement adiabatique humide.

Si l'expansion se poursuit l'effet de la condensation produit un air saturé par rapport à l'eau avec des valeurs de r_w de plus en plus petites.

Il est à souligner que lors d'un processus pseudoadiabatique on considère que l'eau condensée quitte instantanément le système.





Atmos-1.10

L'émagramme et le diagramme de Stüve

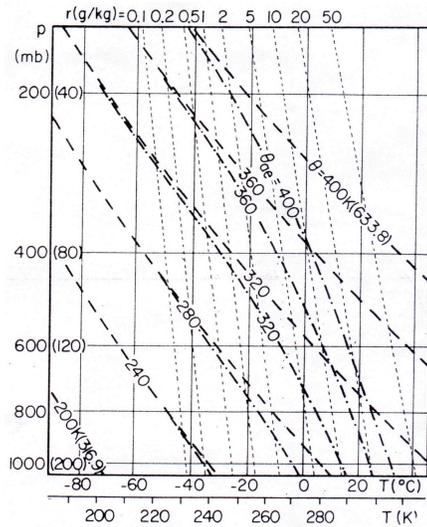
L'émagramme et le diagramme de Stüve sont deux autres diagrammes aérologiques employés dont les coordonnées sont respectivement $-\ln p$ vs T et $-p^{\chi_d}$ vs T . Dans les deux cas, les isobares et les isothermes sont des lignes droites et les adiabatiques sont représentées respectivement par:

$$(-\ln p) = -\frac{1}{\chi_d} \ln T + \frac{1}{\chi_d} \ln \theta + cte \quad (\text{Émagramme})$$

et

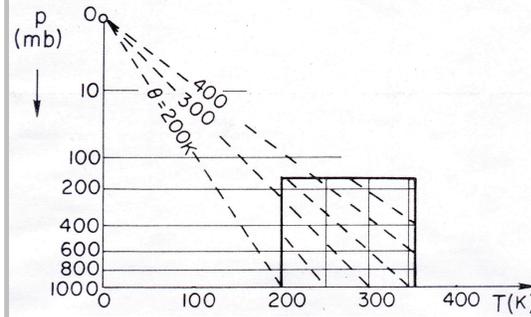
$$p^{\chi_d} = (1000 \text{ mb})^{\chi_d} \frac{T}{\theta} \quad (\text{Diagramme de Stüve})$$

L'émagramme a été inventé en 1884 par H. Hertz.



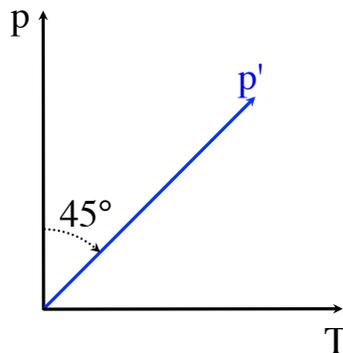
La surface sur l'émagramme est proportionnelle à de l'énergie (travail).

La région encadrée représente la surface couverte par le diagramme de Stüve (1927).

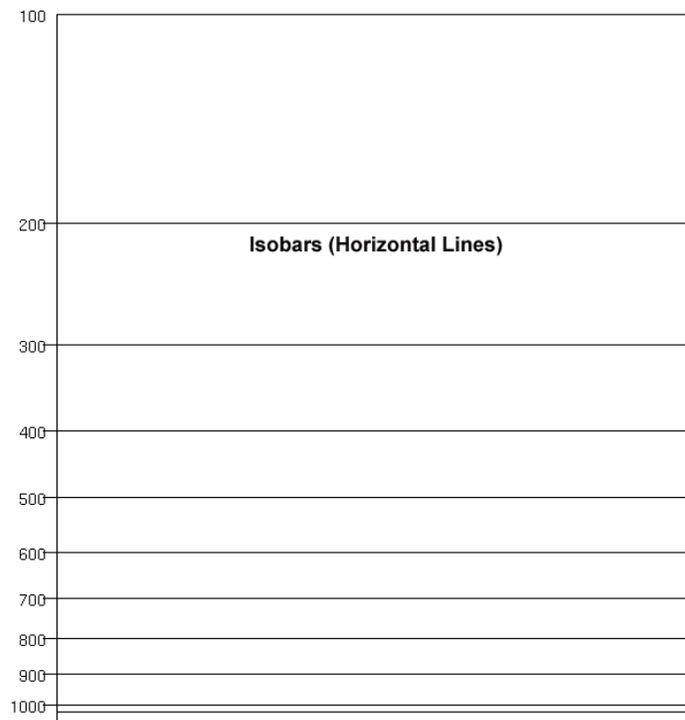


Le diagramme de Herlofson (Skew T – log p)

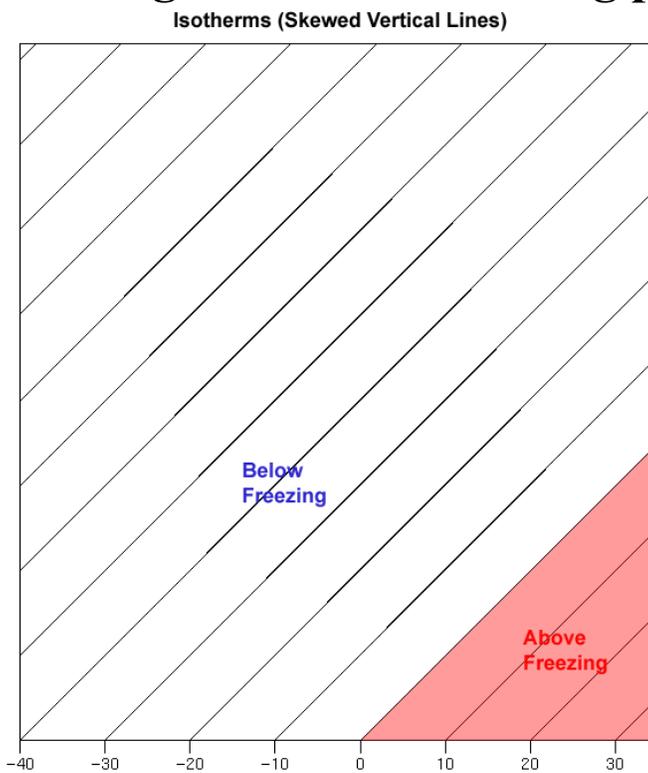
Pour faciliter l'analyse de la stabilité il est préférable de maximiser l'angle qui sépare les adiabatiques des isothermes. En 1947 N. Herlofson proposa une modification pour l'émagramme qui le rendit semblable au téphigramme en faisant subir aux isothermes de l'émagramme une rotation de 45° par rapport aux isobares.



Le diagramme Skew T - log p

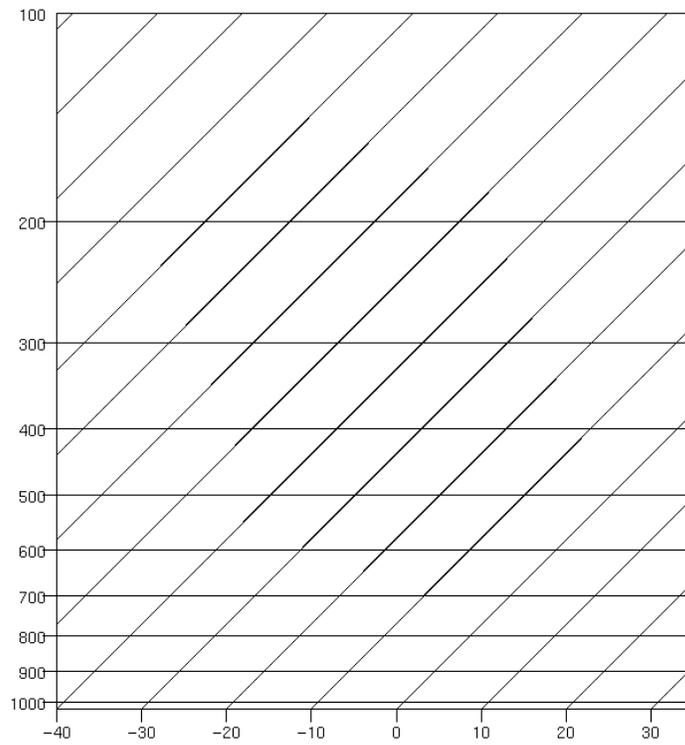


Le diagramme Skew T - log p



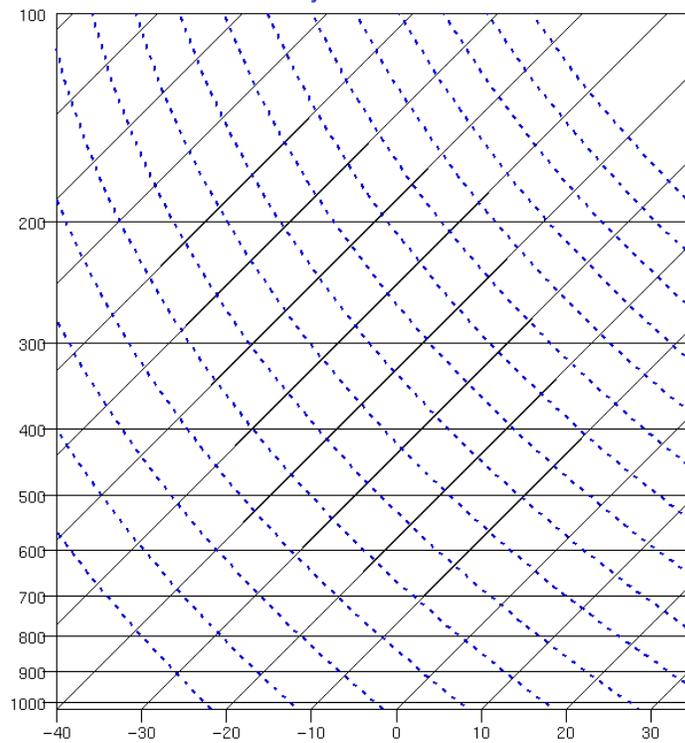
Le diagramme Skew T - log p

Skew T - Ln P

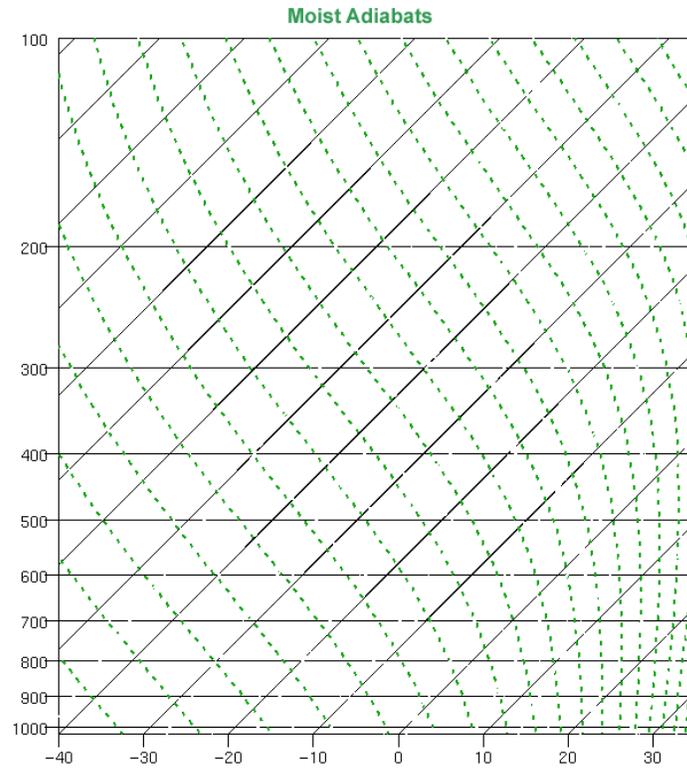


Le diagramme Skew T - log p

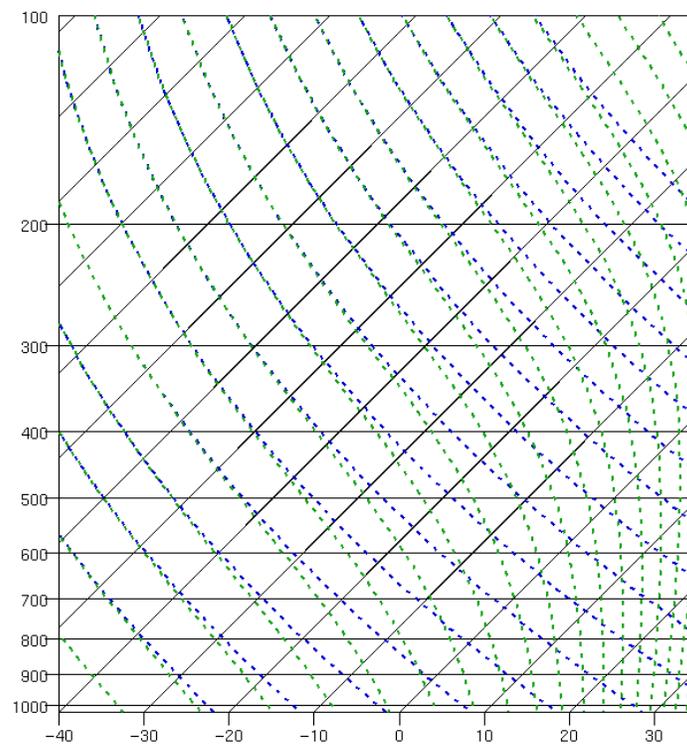
Dry Adiabats



Le diagramme Skew T - log p

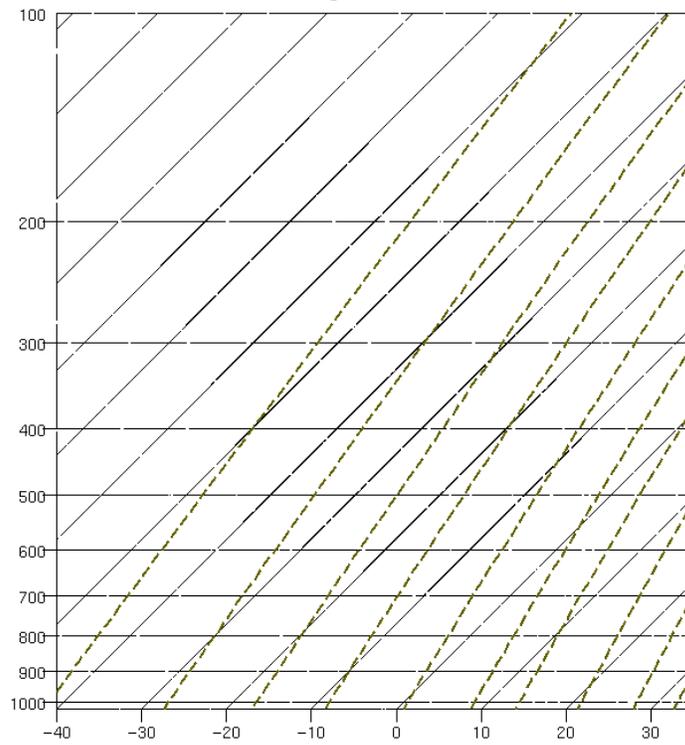


Le diagramme Skew T - log p

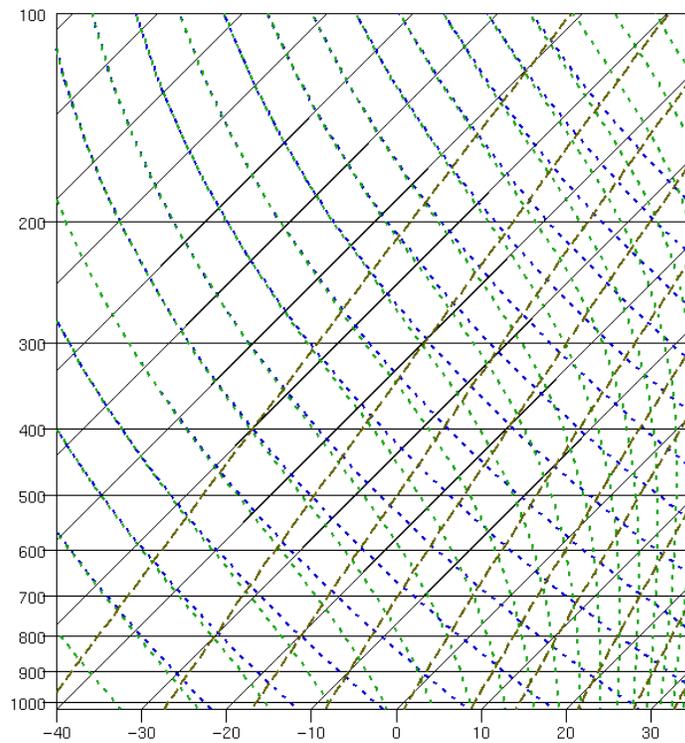


Le diagramme Skew T - log p

Mixing Ratio Lines



Le diagramme Skew T - log p



Le diagramme Skew T – log p

Version informatisée

On peut accéder à une version informatisée de ce diagramme sur le serveur **newton.sca.uqam.ca**. Pour cela, après avoir accédé à votre compte, il est préférable de créer le répertoire **sondage** que l'on dédiera de façon exclusive à l'usage du programme **nsharp** qui trace les données en coordonnée skew T – log p.

Voici un exemple pour l'exploitation de **nsharp** :

- 1) Créer le fichier texte à l'aide d'un éditeur qui contient les données d'un sondage qu'ici on nomme **snd.txt** :

Atmos-1.22

```
SNPARM = PRES;TMPC;RELH;HGHT;DRCT;SPED
STID=Iribarne TIME=000902/0000 STNM=900000
SLAT = 45.0 SLON = -75 SELV = 0
PRES  TMPC  RELH  HGHT  DRCT  SPED
920   24    68    -9999 -9999 -9999
900   22.5  70    -9999 -9999 -9999
850   20    83    -9999 -9999 -9999
800   15.8  83    -9999 -9999 -9999
765   13.0  92    -9999 -9999 -9999
735   12.8  55    -9999 -9999 -9999
700   10.0  54    -9999 -9999 -9999
645   5.8   55    -9999 -9999 -9999
600   3.0   32    -9999 -9999 -9999
568   -1.2  42    -9999 -9999 -9999
545   -2.0  49    -9999 -9999 -9999
500   -8.0  77    -9999 -9999 -9999
400   -19.5 71    -9999 -9999 -9999
300   -33.0 -9999 -9999 -9999 -9999
250   -41.5 -9999 -9999 -9999 -9999
200   -54.0 -9999 -9999 -9999 -9999
150   -65.5 -9999 -9999 -9999 -9999
```

(voir www.atmos.albany.edu/GEMHELP5.2/SNEDIT.html pour les règles de syntaxe à respecter)

- 2) Exécuter le programme **snedit** pour générer le fichier **snd.gem** en format de lecture pour **nsharp** :

```

[/newton/enrico/sondage] (enrico): snedit
SNEFIL  Sounding edit file      sndnew.txt
SNFILE  Sounding data file      sndnew.gem
TIMSTN  Times/additional stations 10/10
Parameters requested: SNEFIL,SNFILE,TIMSTN.
GEMPAK-SNEDIT>SNEFILb=bsnd.txt           (la lettre b indique un espace)
GEMPAK-SNEDIT>SNFILEb=bsnd.gem
GEMPAK-SNEDIT>run

SNEDIT PARAMETERS:

Output sounding file: snd.gem
This is an existing file.

The following parameters are in the file:
PRES TMPC RELH HGHT DRCT SPED

Enter <cr> to accept parameters or type EXIT: <cr>
[SNEDIT 1] Data for IRIBARNE at 000902/0000 has been added to the file.
Parameters requested: SNEFIL,SNFILE,TIMSTN.
GEMPAK-SNEDIT>exit
[/newton/enrico/sondage] (enrico):

```

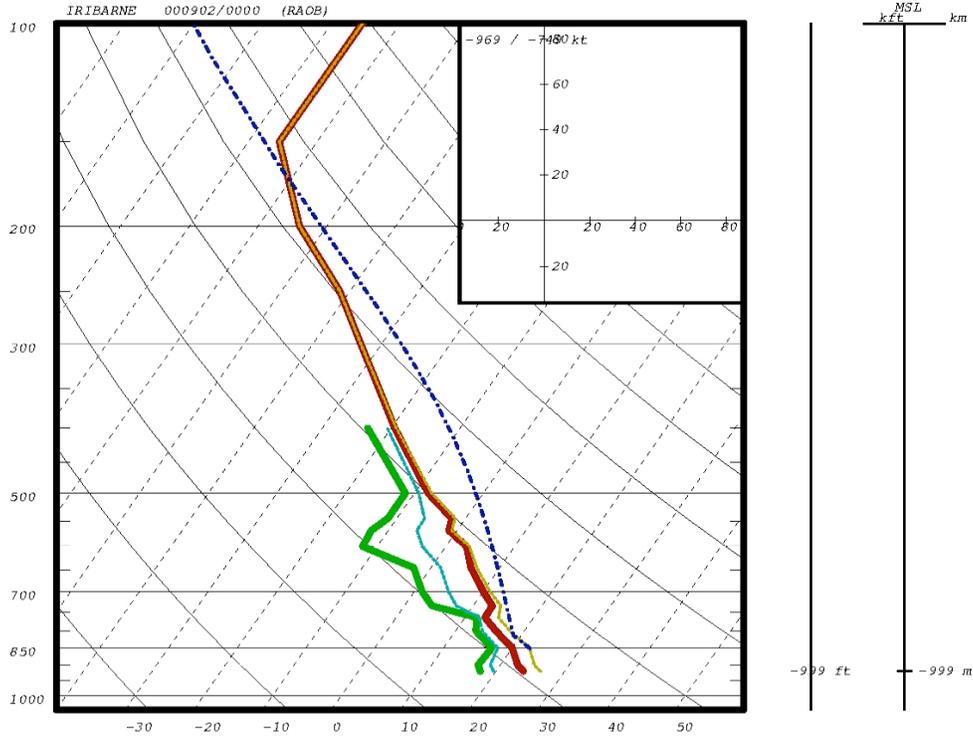
- 3) Exécuter **nsharp**

```

[/newton/enrico/sondage] (enrico): nsharp

i) Sélectionner Observed Sounding du menu Load
ii) Sélectionner BROWSE du menu File
iii) Sélectionner le fichier snd.gem et cliquer OK
iv) Sur la liste Sounding times sélectionner 000902/0000
v) Sélectionner le cercle rouge qui apparaît près de Montréal... et les jeux
sont faits!

```



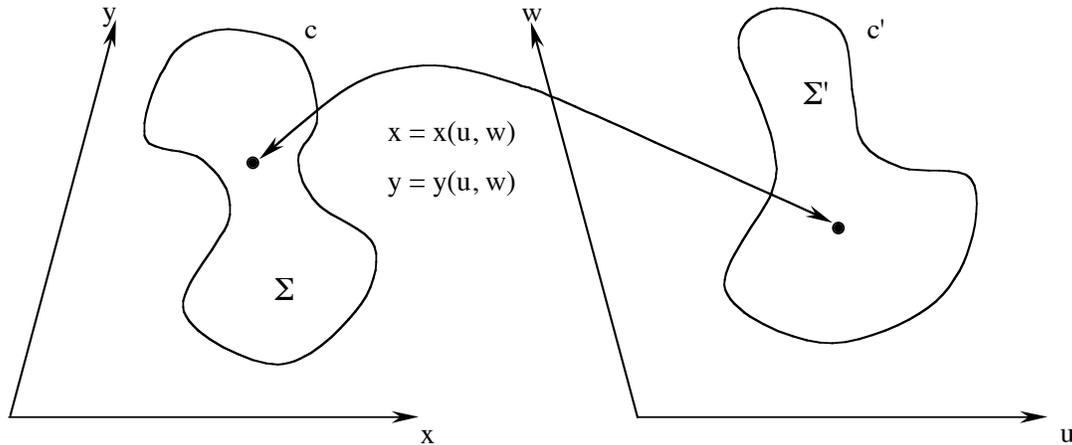
THERMODYNAMIC PARAMETERS			
850 mb PARCEL			
LPL:	850mb	20C / 17C	68F / 63F
CAPE:	0 J/kg	LI:	-7 C @ 500mb
BFZL:	0 J/kg	LImin:	M
CINH:	0 J/kg	CAP:	0 C @ 800mb
LEVEL	PRES	HGT(AGL)	TEMP
LCL	813mb	M	
LFC	803mb	M	16 C
EL	M	M	M
MPL	M	M	
Precip Water:	1.42 in	Mean RH:	61 %
Mean Q:	13.8 g/kg	Mean LRH:	78 %
Top of Moist Layer:	850 mb / M		
700-500mb Lapse Rate:	18 C / M		
850-500mb Lapse Rate:	30 C / M		
Total Totals:	53	K-Index:	36
SWEAT Index:	M	Max Temp:	85 F
ThetaE Diff:	24 C	*Conv Temp:	75 F
PRZ Level:	M	WBZ Level:	M

KINEMATIC PARAMETERS			
Sfc - 6 km Mean Wind:		M / M	
LFC - EL Mean Wind:		M / M	
850 - 300 Mean Wind:		M / M	
Sfc - 2km Shear:	M		
Sfc - 6km Shear:	M		
*BRN Shear:		M	

STORM STRUCTURE PARAMETERS			
Sfc - 3km SREH:	M		
Effective SREH:	M		
0-2 km SRW:	M	EHI:	M
4-6 km SRW:	M	BRN:	M
6-10 km SRW:	M		

Output produced by Unidata postscript driver:
 NSHARE (Skew-T-Hodograph Analysis and Research Program)

Transformation des aires



Transformation des aires

$$\begin{cases} x = x(u, w) \\ y = y(u, w) \end{cases} \quad d\vec{\Sigma} = d\vec{x} \times d\vec{y} \quad d\vec{\Sigma}' = d\vec{u} \times d\vec{w}$$

$$\left. \begin{aligned} d\vec{x} &= \frac{\partial x}{\partial u} d\vec{u} + \frac{\partial x}{\partial w} d\vec{w} \\ d\vec{y} &= \frac{\partial y}{\partial u} d\vec{u} + \frac{\partial y}{\partial w} d\vec{w} \end{aligned} \right\} d\vec{\Sigma} = \left(\frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial w} - \frac{\partial x}{\partial w} \frac{\partial y}{\partial u} \right) (d\vec{u} \times d\vec{w})$$

$$\Rightarrow d\vec{\Sigma} = J d\vec{\Sigma}' \quad \text{où} \quad J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial w} \\ \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial w} \end{vmatrix} \quad \text{est le Jacobien}$$

$$\text{si } J \text{ est une constante} \Rightarrow \boxed{\vec{\Sigma} = J \vec{\Sigma}'}$$

L'aire du cycle est préservée si : $J = 1$

L'aire du cycle est proportionnelle si : $J = cte$

$$\Rightarrow \boxed{\text{Si } J = cte \\ \Sigma \sim \text{Energie} \Rightarrow \Sigma' \sim \text{Energie}}$$

On peut montrer que : $\boxed{\vec{\Sigma}_{\text{ip}} \sim \vec{\Sigma}_{\text{éma}}}$