

Stage Edumétéo

L'eau dans l'air

Intervenants :

Emmanuel CELHAY
Sébastien LAFLORENCIE

emmanuel.celhay@meteo.fr
sebastien.laflorencie@meteo.fr



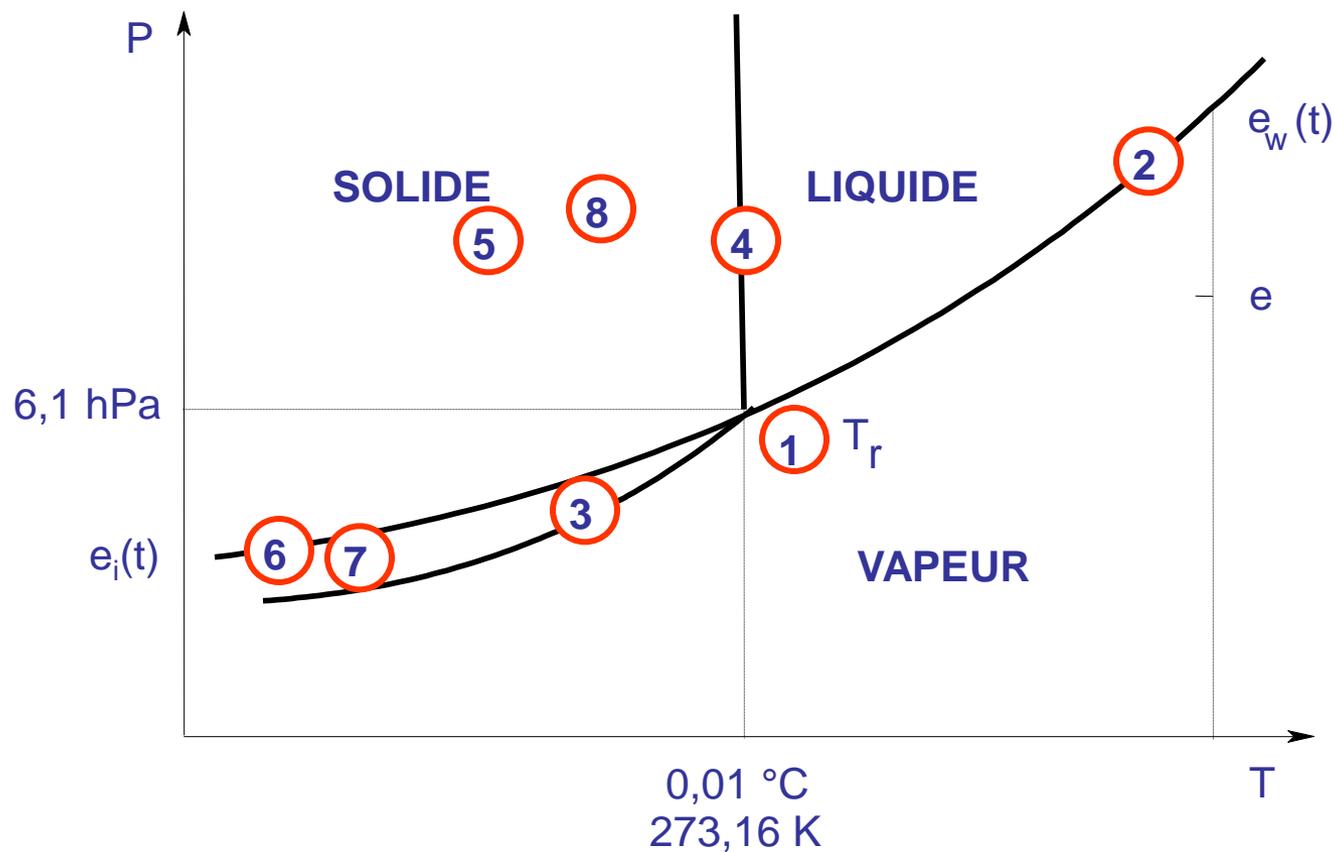
Loi d'état des gaz parfaits : définition

- le gaz est constitué de molécules assimilées à des sphères indéformables : les chocs sont alors élastiques et l'énergie cinétique se conserve ;
- on néglige les forces d'interaction entre particules ;
- le système est isolé et on néglige les forces extérieures telles que le poids ; l'énergie qu'il contient est l'énergie interne :
$$E_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m v_i^2$$
- l'équilibre statique signifie que les grandeurs physiques ont une valeur moyenne indépendante du temps.

Chaleur sensible

- L'agitation moléculaire est donc associée à un **état d'énergie stabilisé** représenté par une grandeur statistique. Ce paramètre représente **la température du gaz**.
- Il s'agit de la **température « sensible »** que l'on peut ressentir et qui peut se transmettre par conduction ou par mélange (par exemple, ce sera le cas d'un brassage turbulent par le biais du vent : on observe alors une **homogénéisation de la température dans la couche brassée**).
- En retour, **un contraste de température va solliciter un mouvement** qui va tendre à réduire cet écart et se traduire par un retour à l'équilibre. (Par exemple, c'est le cas de la brise).
- On peut considérer que **l'atmosphère est un moteur thermique** qui transforme de la chaleur en mouvement.
- C'est aussi, grâce à l'eau, **une machine à vapeur !**

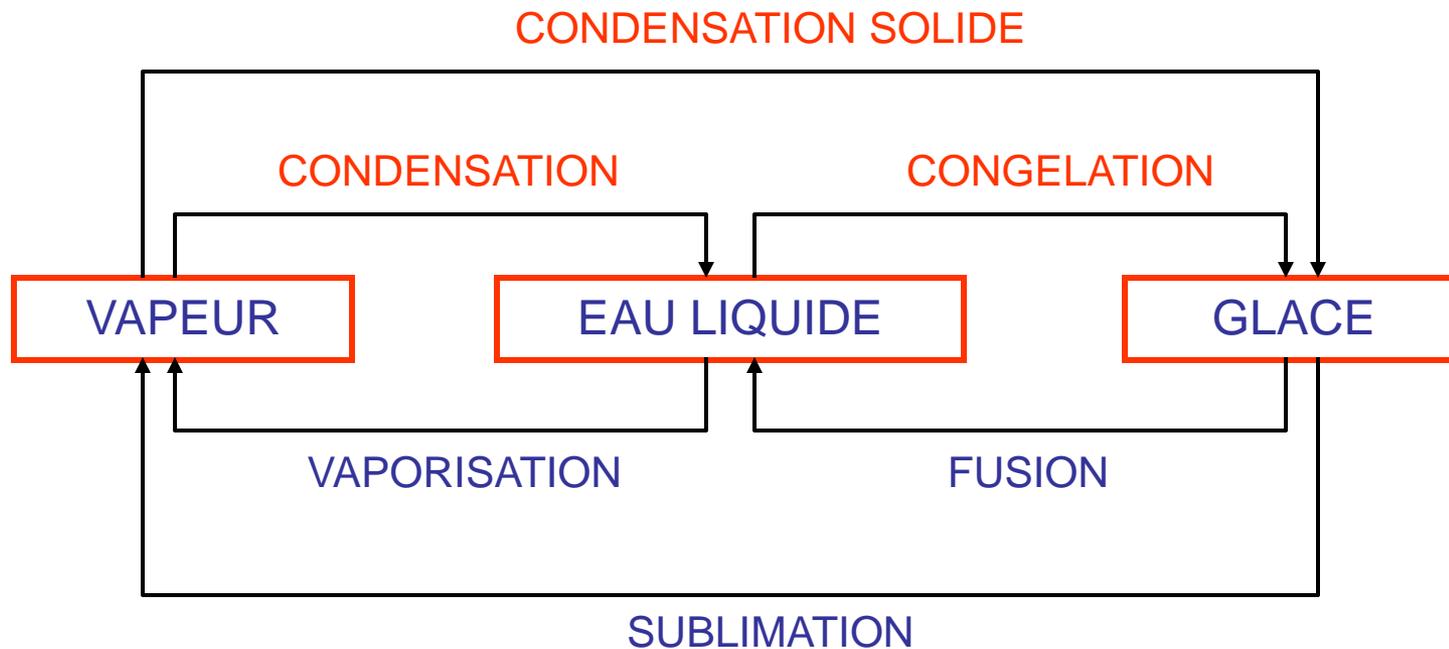
Changements de phase de l'eau



Chaleur latente

Chaque changement de phase de l'eau est associé à un transfert de chaleur :
la **chaleur latente**.

Transformations qui libèrent de la chaleur



Transformations qui absorbent de la chaleur

Théorie : formulation de la loi d'état des gaz parfaits

$$PV = nR^*T$$

Pa m³ môles K

R^* : cste des gaz parfaits

$$R^* = 8,314 \text{ J.môle}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$PV = m[R]T \quad \longleftrightarrow \quad P = \rho[R]T$$

$[R]$: cste spécifique

$$[R] = \frac{R^*}{M}$$

Loi de Dalton

$$P_a V = n_a R^* T$$

$$eV = n_v R^* T$$

$$(P_a + e)V = (n_a + n_v)R^* T$$

$$(P_a + e)V = nR^* T$$

$$P = P_a + e$$

$$e \ll P_a$$

$$R_a = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$R_v = 461,5 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Equation d'évolution de la température

Variation de température = travail + chaleur

$$dT = \left(\frac{R}{c_p} \frac{T}{P} dP \right) + \left(\frac{1}{c_p} \delta Q \right)$$

$$\delta Q = \delta Q_C + \delta Q_R + \delta Q_L + \delta Q_V$$

δQ_C : TERME CONDUCTIF

δQ_R : TERME RADIATIF

δQ_L : CHALEUR LATENTE

δQ_V : TERME DE VISCOSITE

Précipitation de 8mm \Leftrightarrow Chauffage solaire d'une journée

Transformations thermodynamiques dans l'atmosphère

AU SOL : TRANSFORMATIONS ISOBARES

$$\delta Q \neq 0 \Leftrightarrow \frac{dP}{dt} = 0$$

EN ALTITUDE : TRANSFORMATIONS ADIABATIQUES

$$\frac{dT}{T} = \frac{R}{c_p} \frac{dP}{P}$$

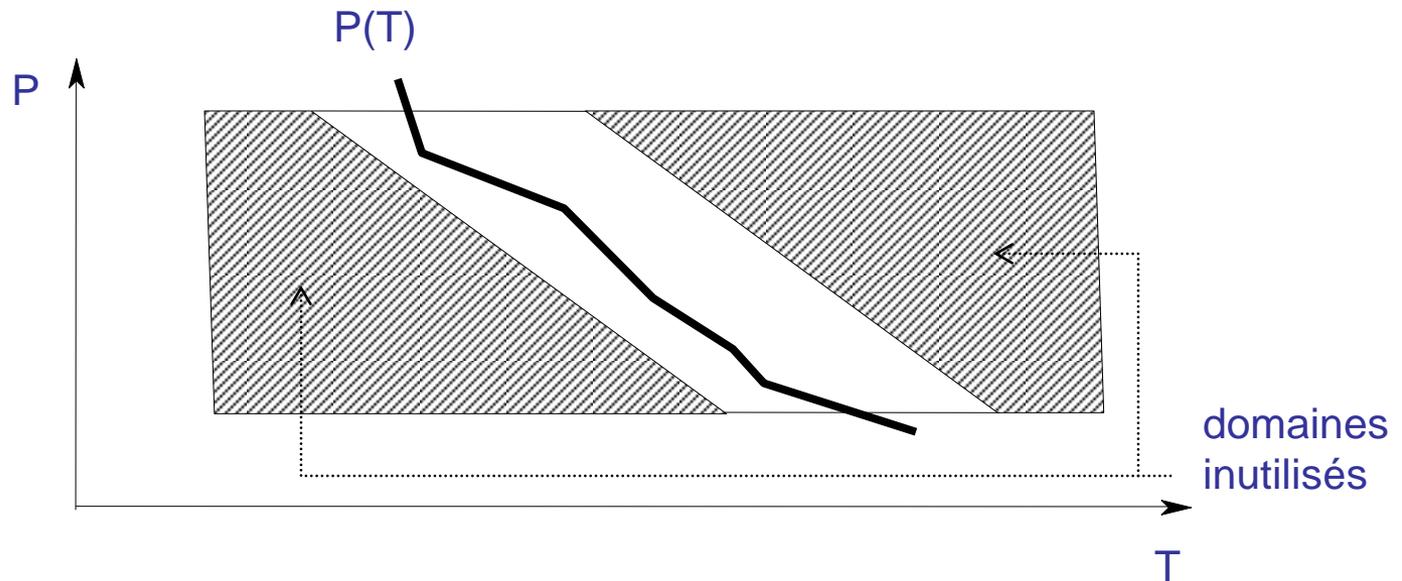
GRADIENT ADIABATIQUE SEC : $\left. \frac{dT}{dz} \right]_{AD.} = \frac{R}{c_p} \frac{(-\rho g)T}{P} = -\frac{g}{c_p} \approx -1K/100m$

$$T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{R}{c_p}}$$

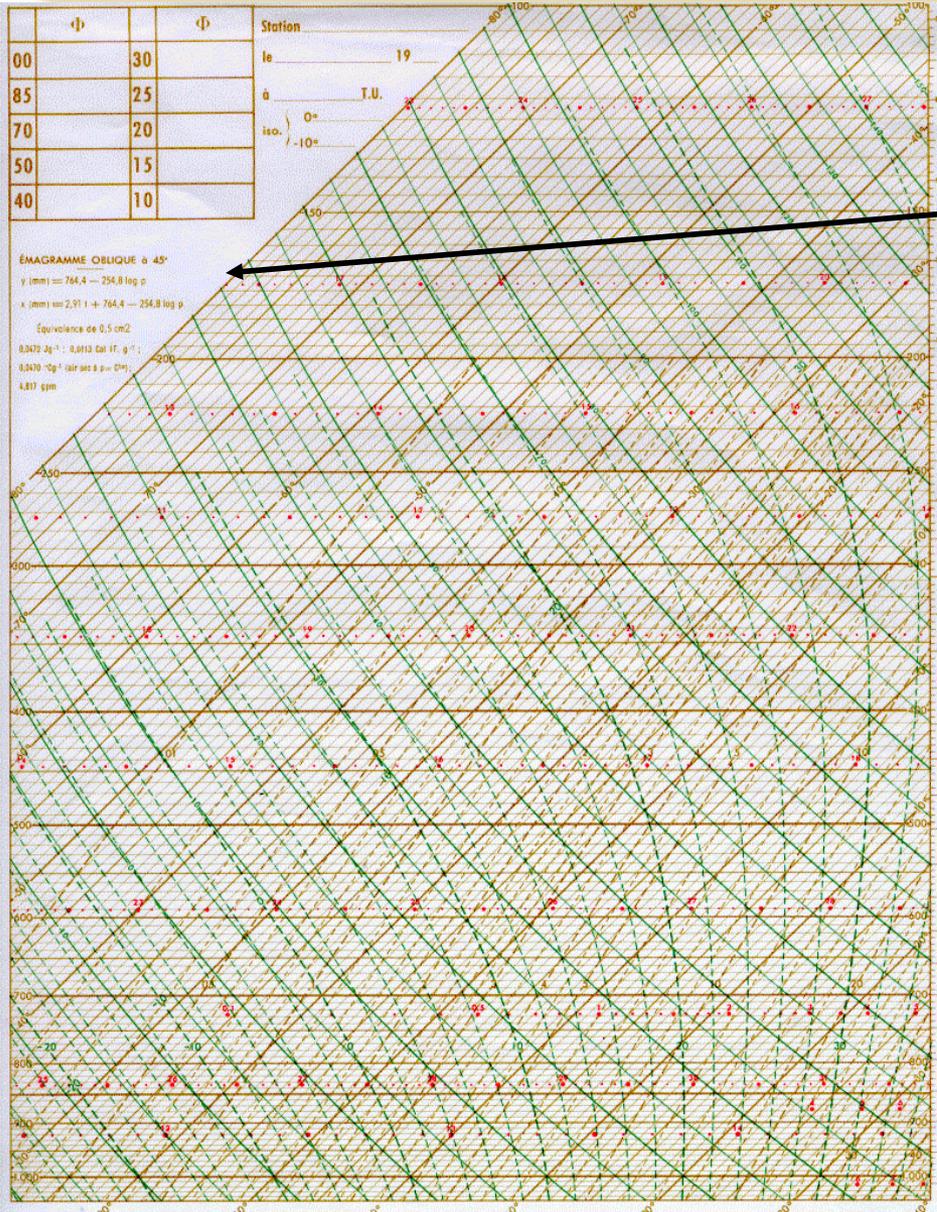
$$\theta = T \left(\frac{P_r}{P} \right)^{\frac{R}{c_p}}$$

θ : TEMPERATURE POTENTIELLE

Diagramme à axe oblique



Emagramme



CARTOUCHE :

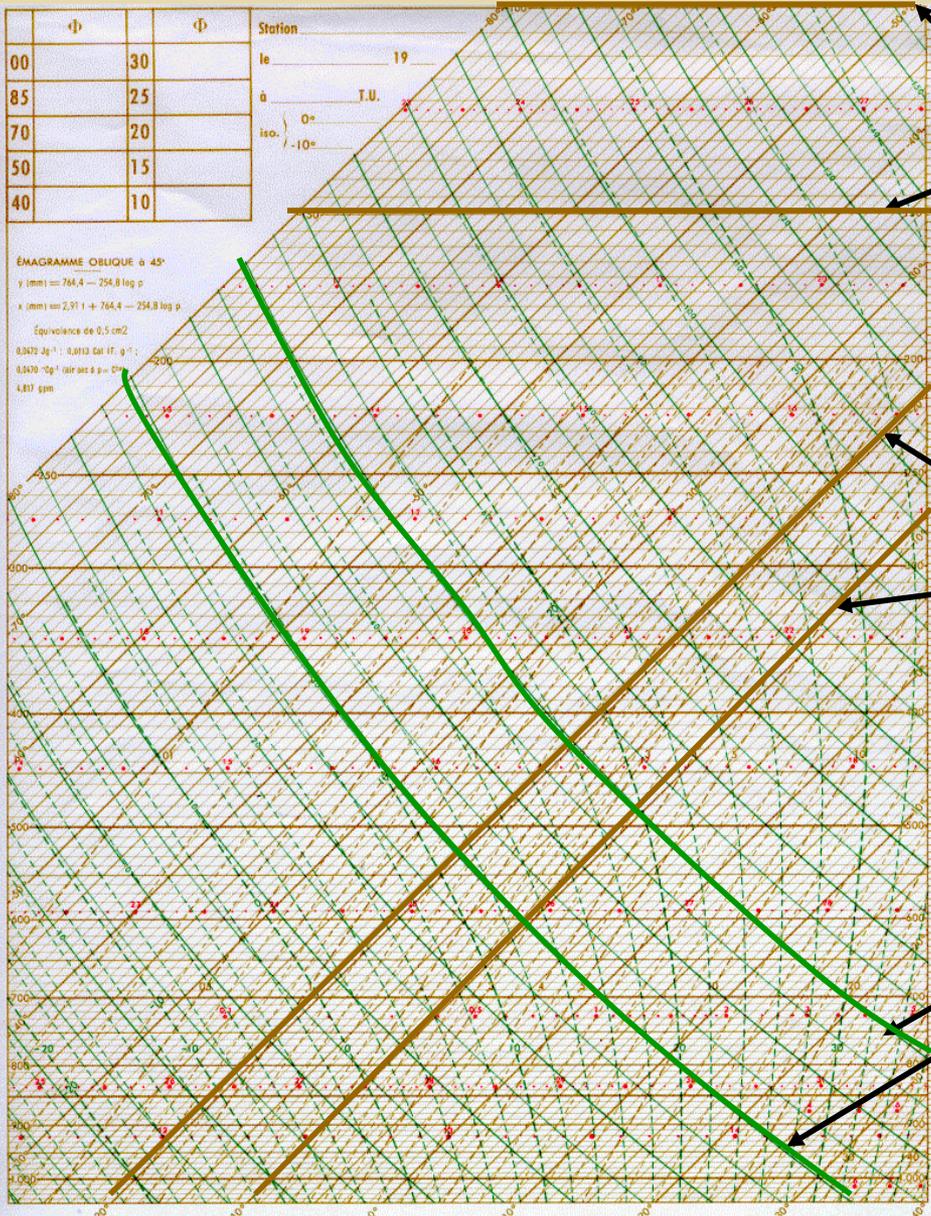
$$y_{\text{mm}} = k_y \log\left(\frac{1000}{P}\right)$$

P en hPa k_y en mm

$$x_{\text{mm}} = k_x t + y$$

k_x en mm.°C⁻¹

Emagramme



ISOBARES
horizontales

ISOTHERMES
inclinées à 45°

ISENTROPES
courbes vertes

Paramètres d'humidité

➤ e : TENSION DE VAPEUR

➤ U : HUMIDITE RELATIVE

$$U = 100 \frac{e}{e_w(t)}$$

➤ r : RAPPORT DE MELANGE

$$r = \frac{m_v}{m_a} = 0,622 \frac{e}{P - e}$$

➤ q : HUMIDITE SPECIFIQUE

$$q = \frac{m_v}{m_v + m_a} = \frac{r}{1 + r}$$

➤ ρ_v : HUMIDITE ABSOLUE

$$\rho_v = \frac{e}{R_v T}$$

Air saturé : rapport de mélange saturant

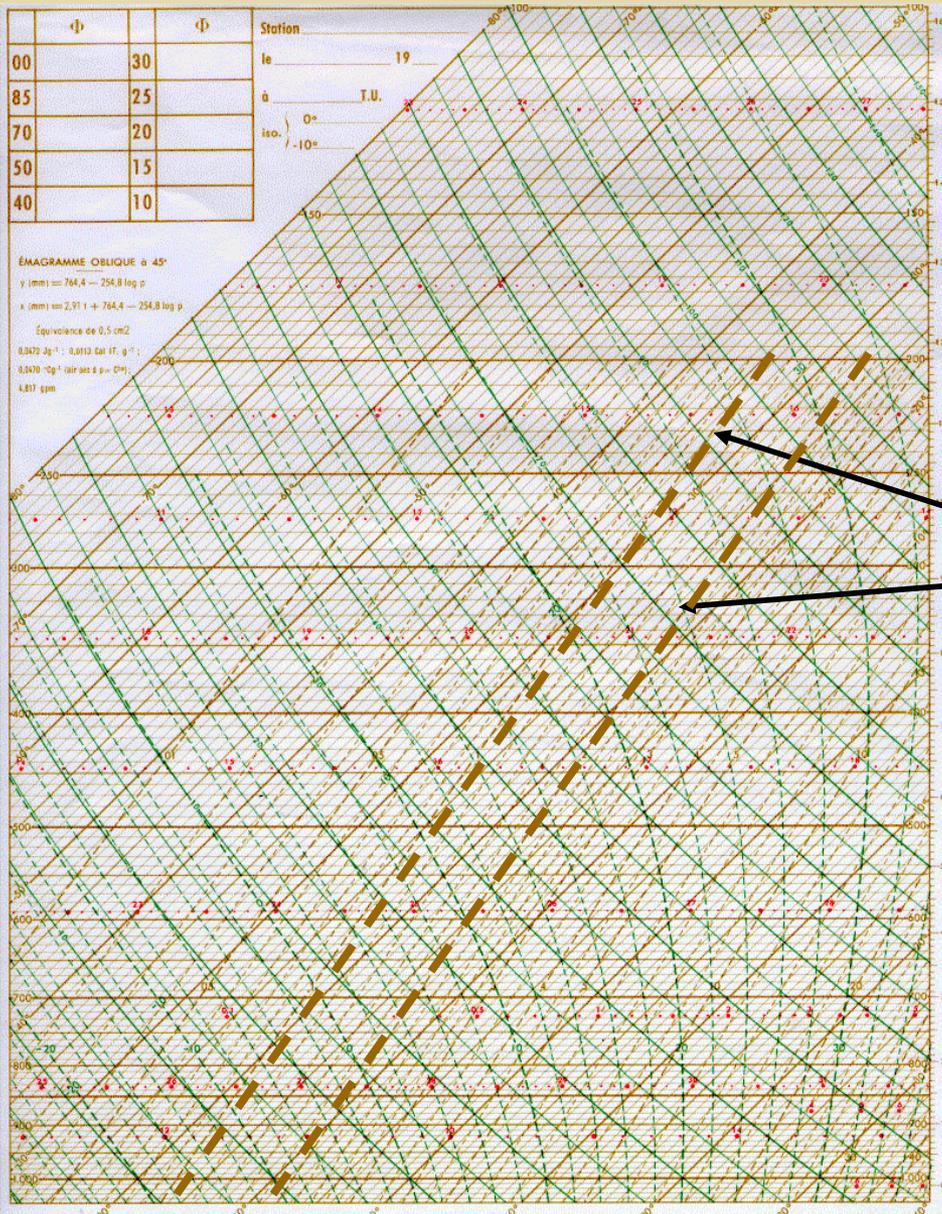
$$\left. \begin{array}{l} r = 0,622 \frac{e}{P-e} \\ e \leq e_w(t) \end{array} \right\} \Rightarrow r \leq 0,622 \frac{e_w(t)}{P-e_w(t)}$$

$$r_w(P, t) = 0,622 \frac{e_w(t)}{P-e_w(t)}$$

$$r = \frac{m_v}{m_a}$$

$$r_w = \frac{m_{vx}}{m_a}$$

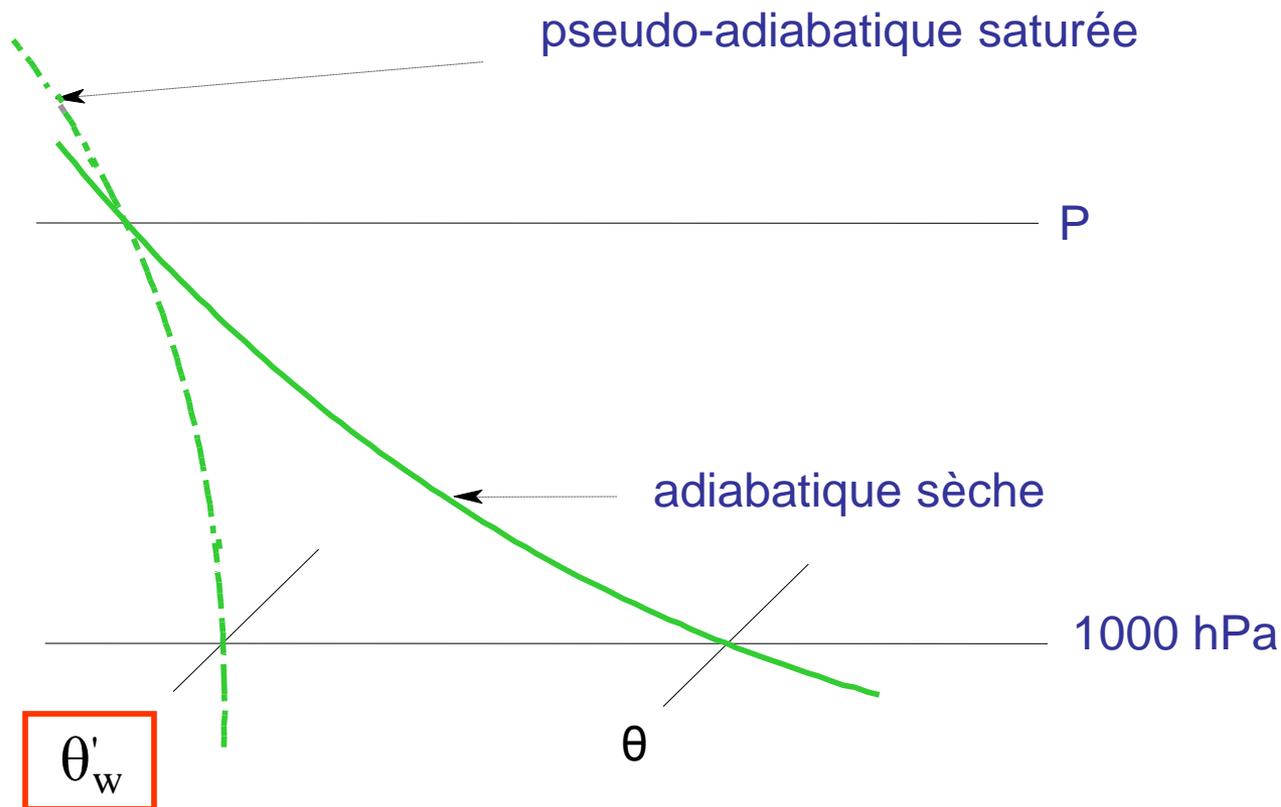
Iso-r_w



ISO-r_w

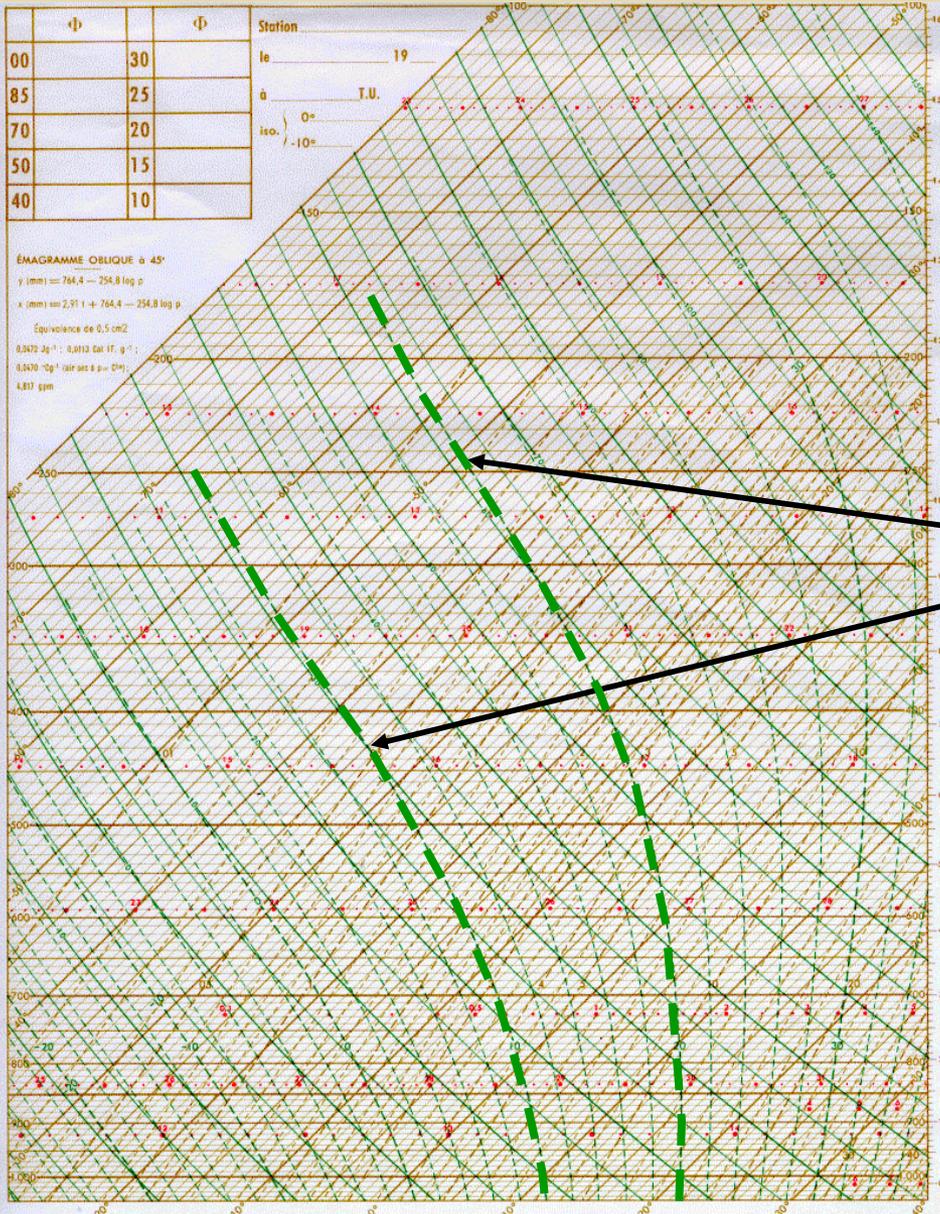
Transformations de l'air saturé

PSEUDO-ADIABATISME : *TOUTE L'EAU CONDENSEE PRECIPITE*



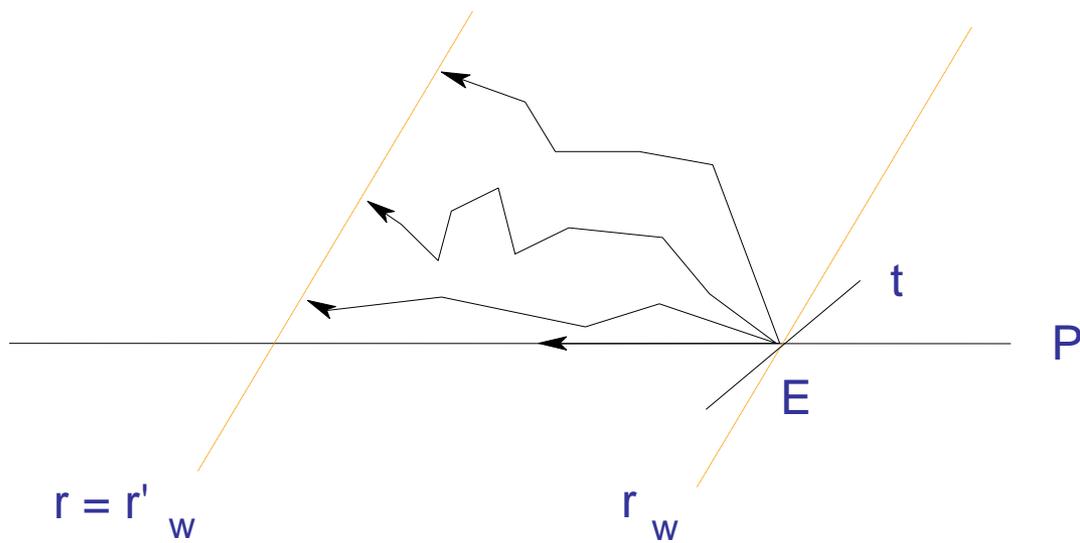
Température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé

Iso- θ'_w

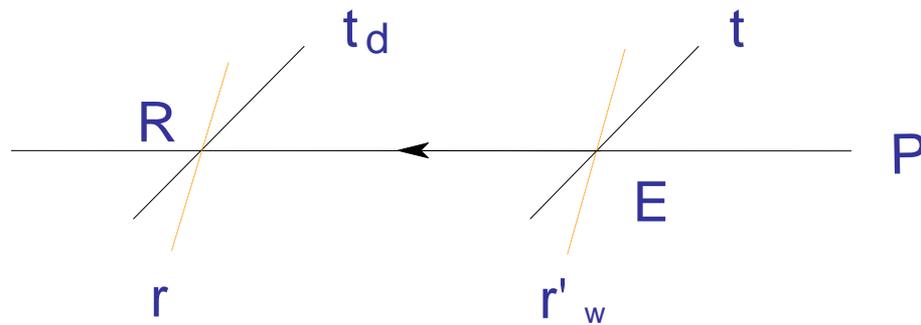


ISO- θ'_w

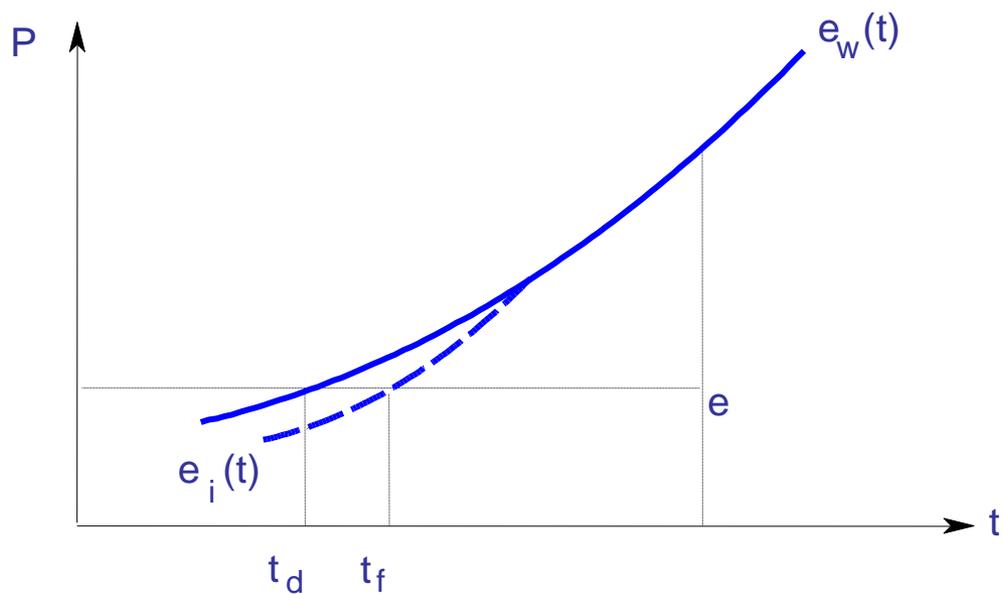
Processus de saturation



Refroidissement isobare



Température de fusion



t_d : température du point de rosée

t_f : température du point de fusion

Brouillard

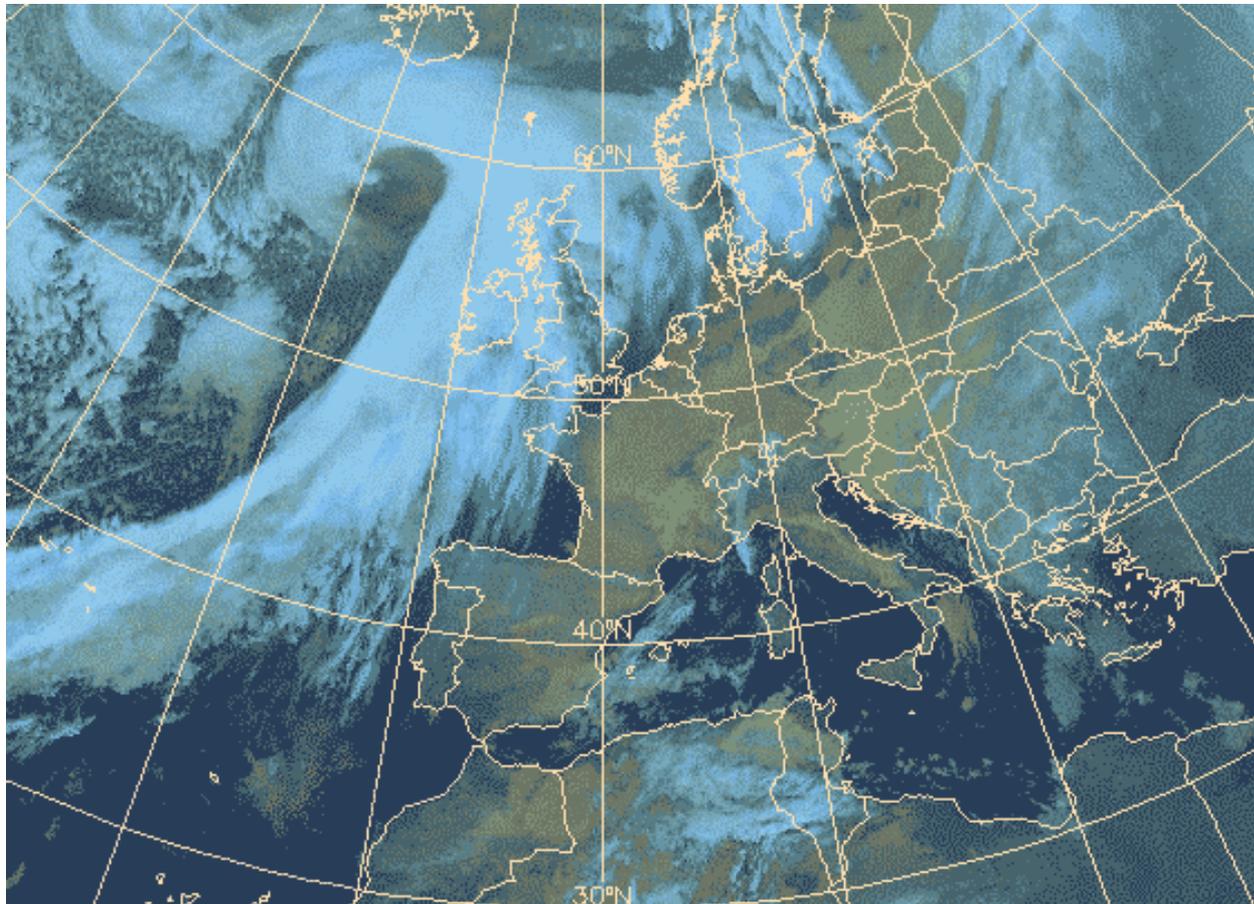
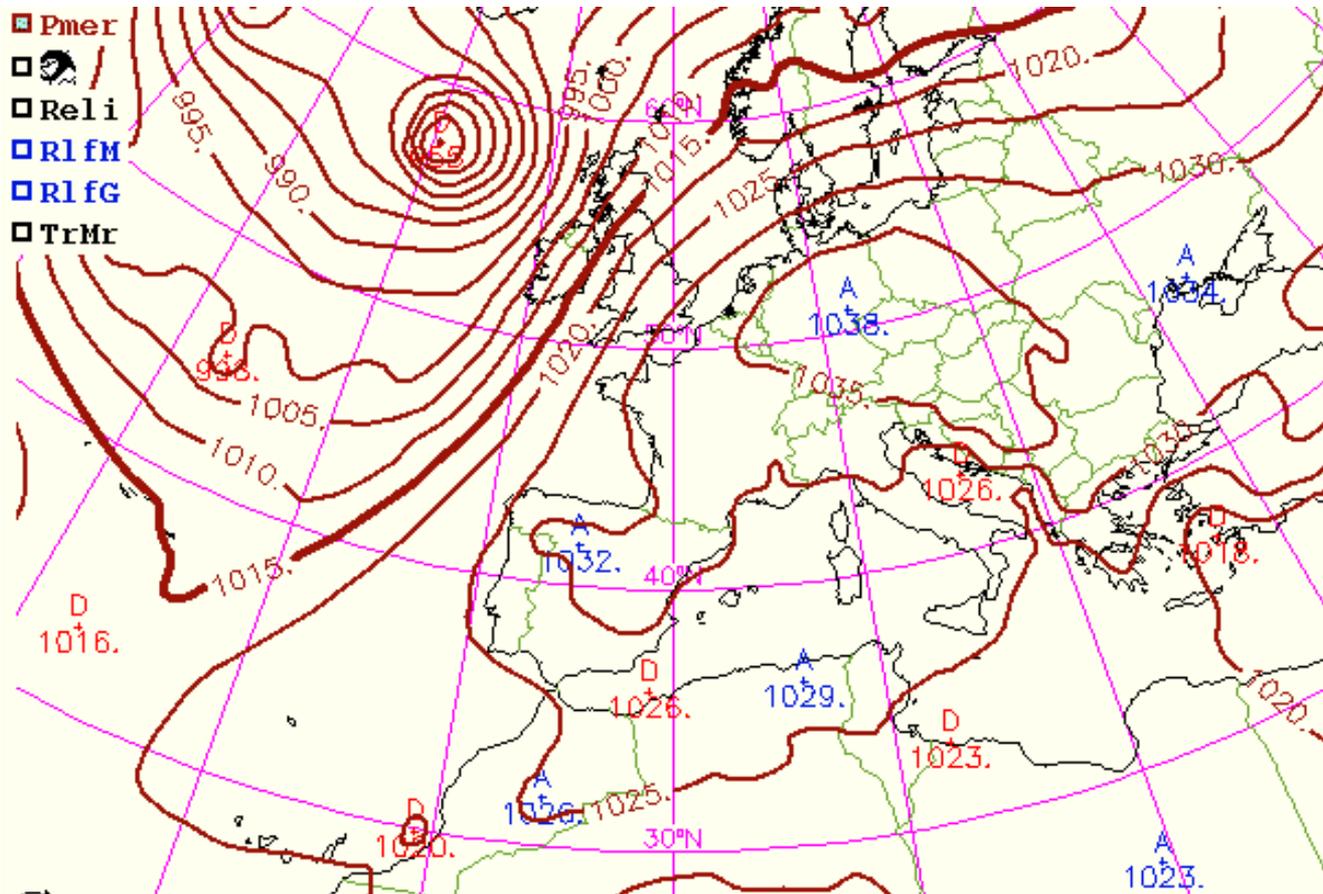


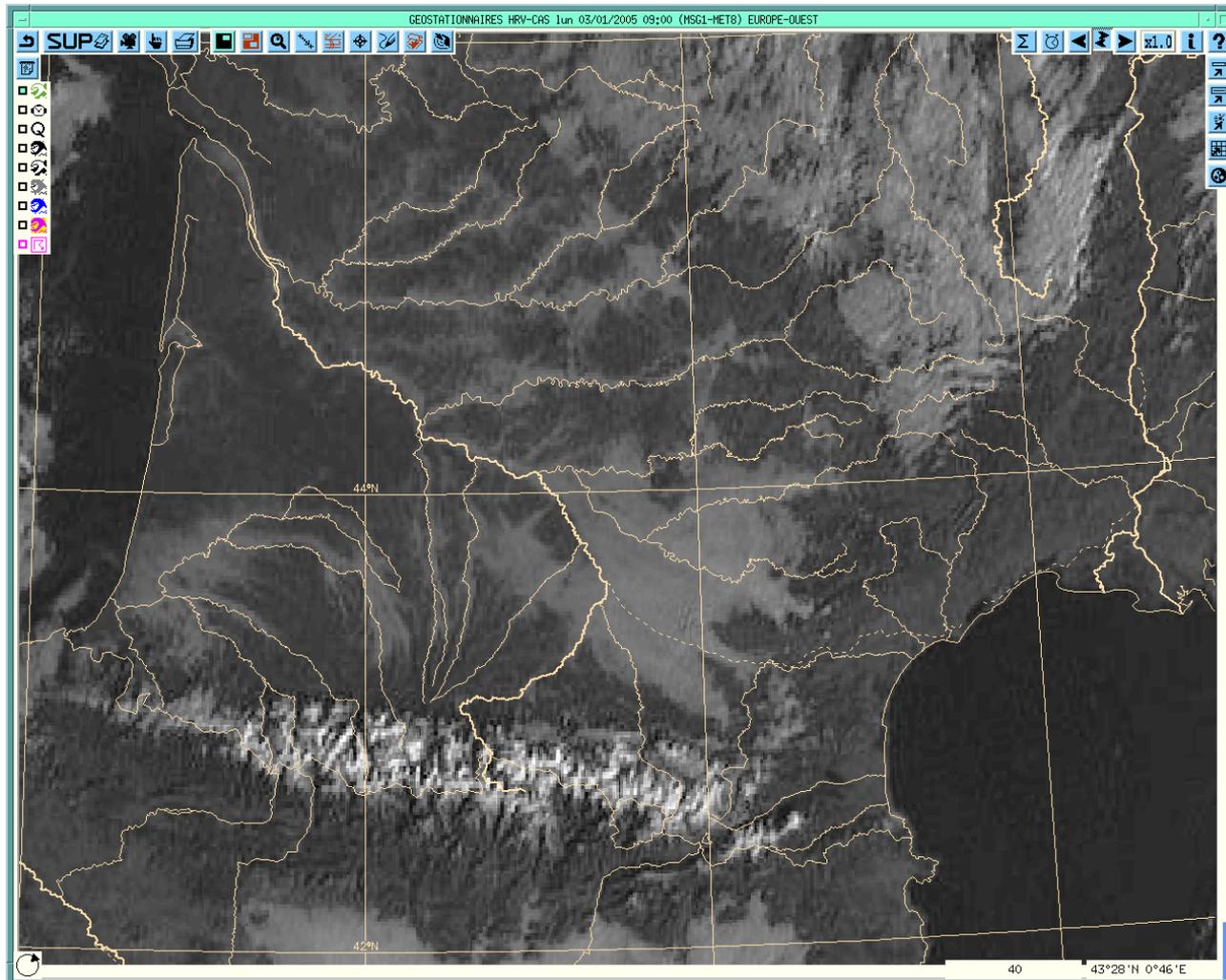
IMAGE DU 30/11/06 07 00 UTC

Brouillard

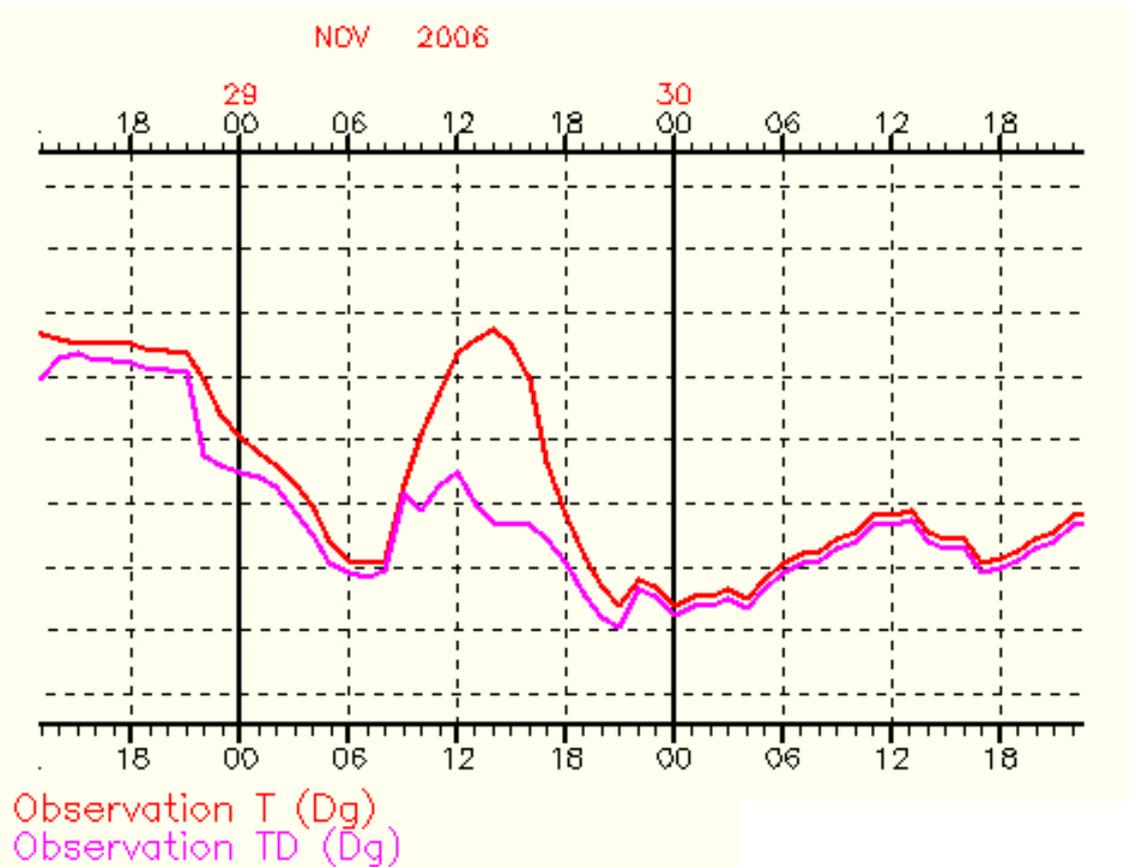


CHAMP DE PRESSION DU 30/11/06 07 00 UTC

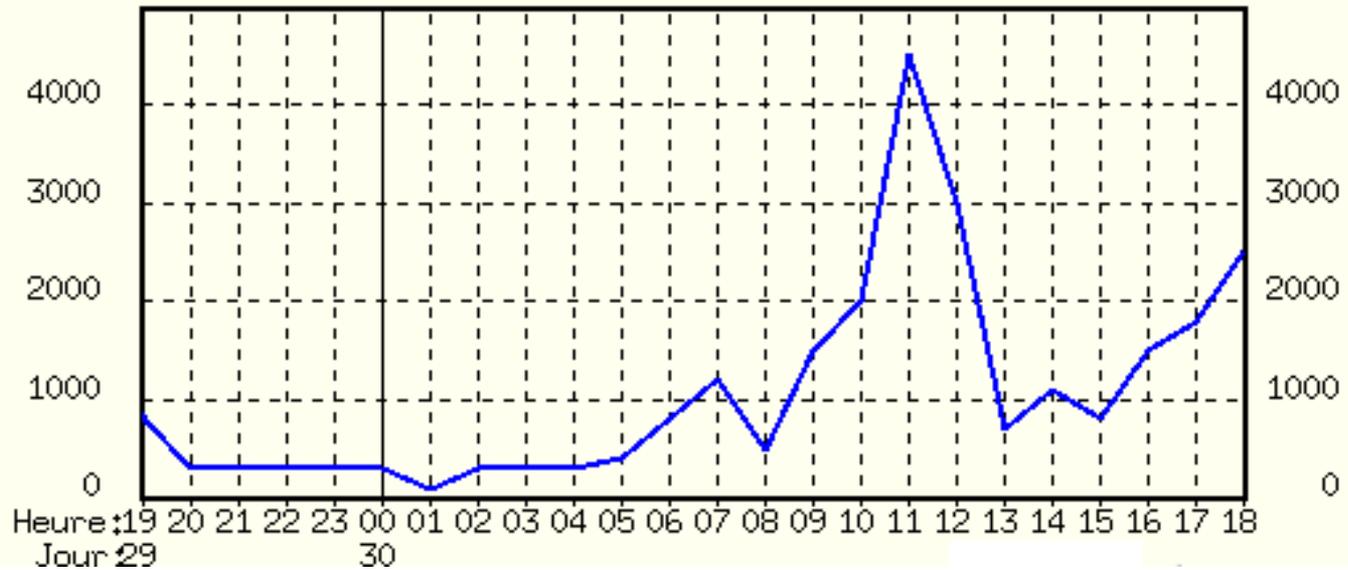
Réseau hydrographique et brouillard de rayonnement



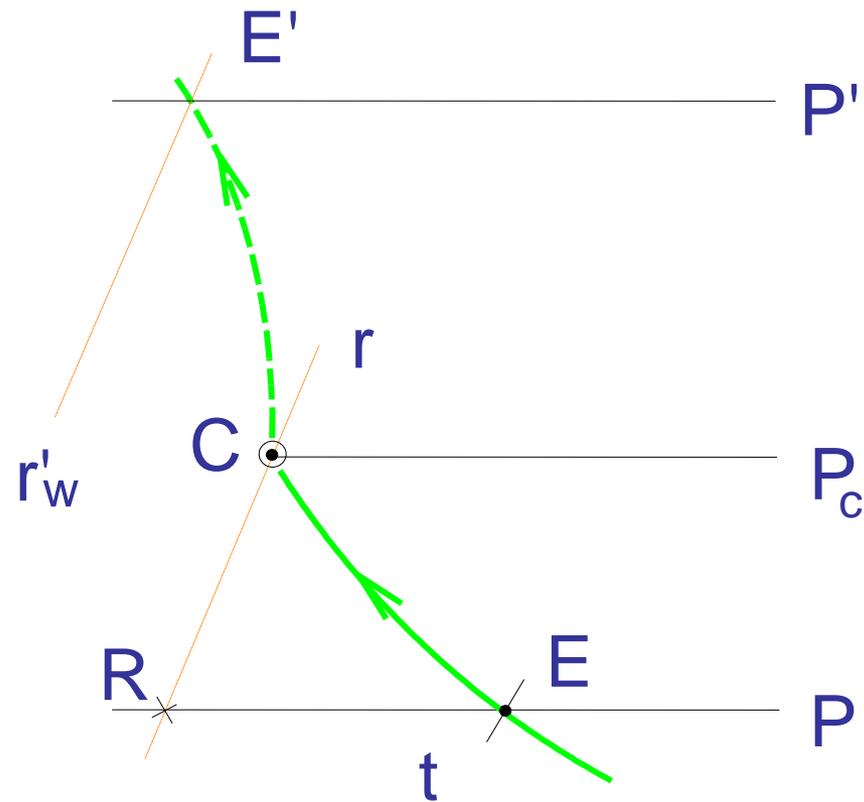
Observation à Trappes



Visibilité à Orly



Détente adiabatique



Brouillard d'évaporation

$$m = A \cdot \frac{e_w(t_{\text{liquide}}) - e}{P}$$

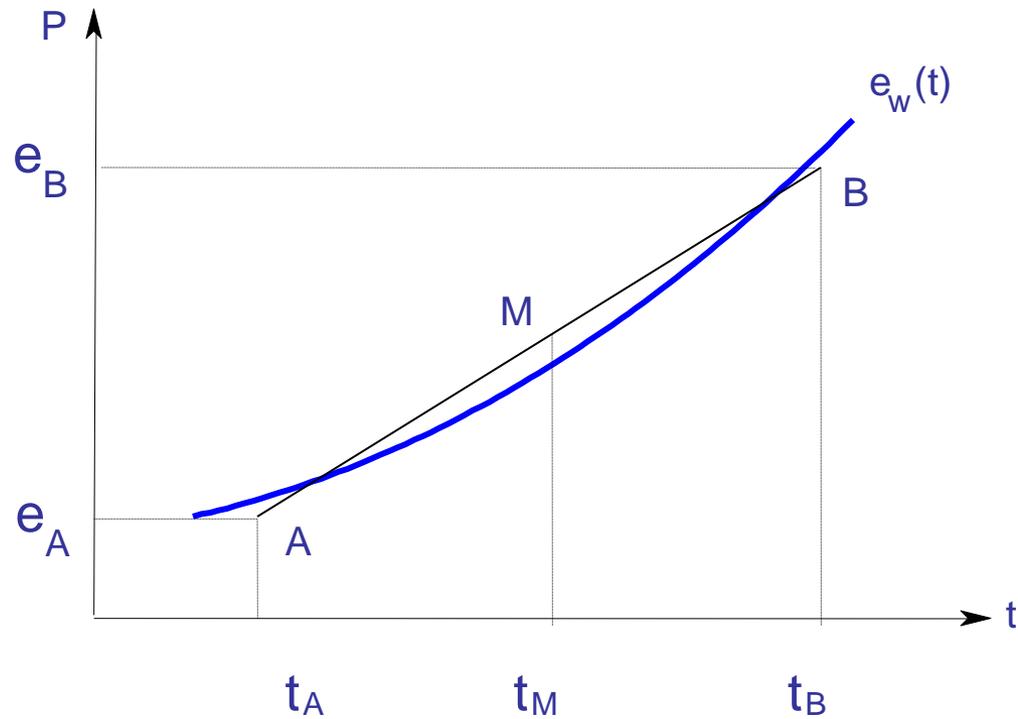
$$t_{\text{air}} > t_{\text{eau}}$$

$$e_w(t_d) < e_w(t_{\text{eau}}) < e_w(t_{\text{air}})$$

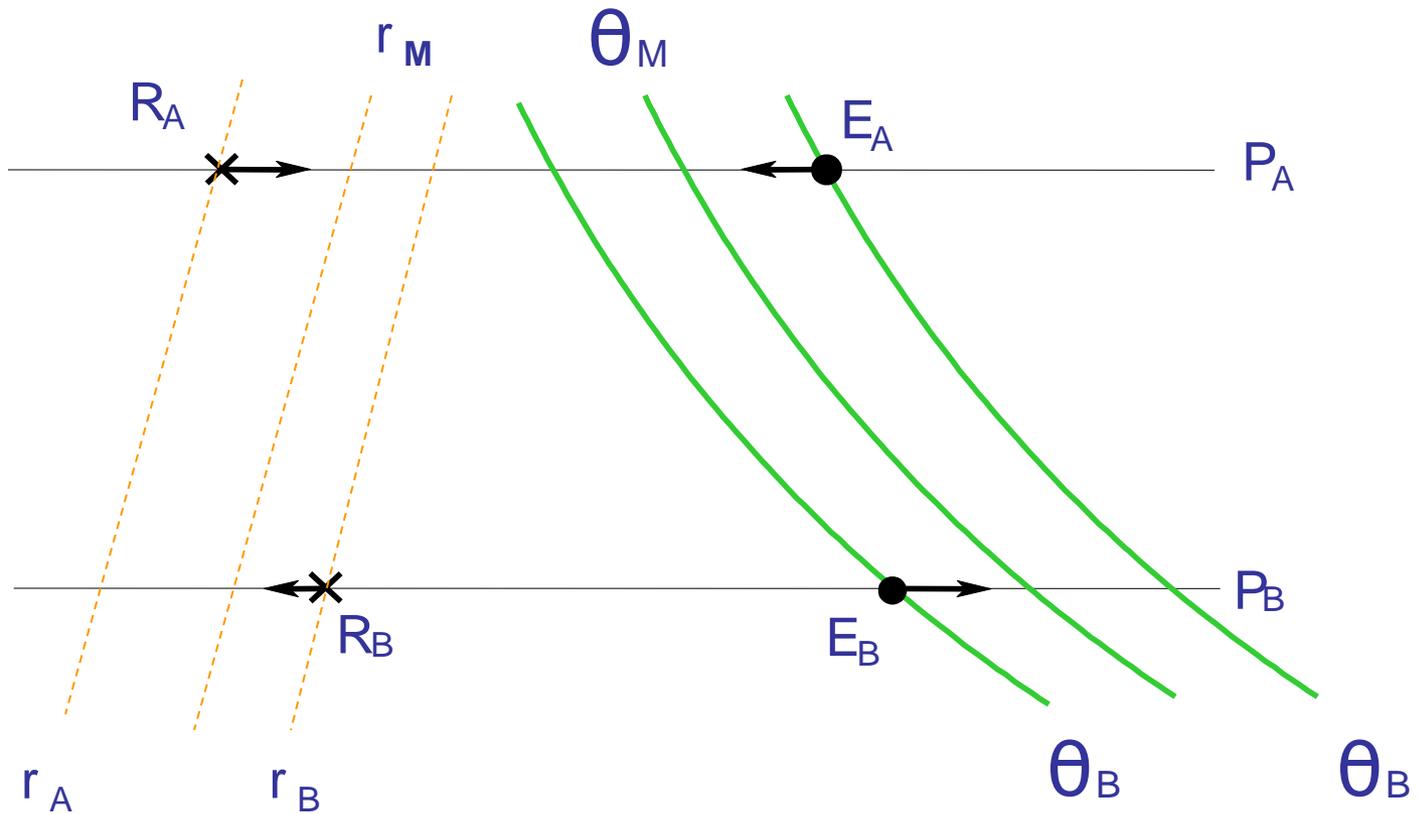
$$t_{\text{air}} < t_{\text{eau}}$$

$$e < e_w(t_{\text{air}}) < e_w(t_{\text{eau}})$$

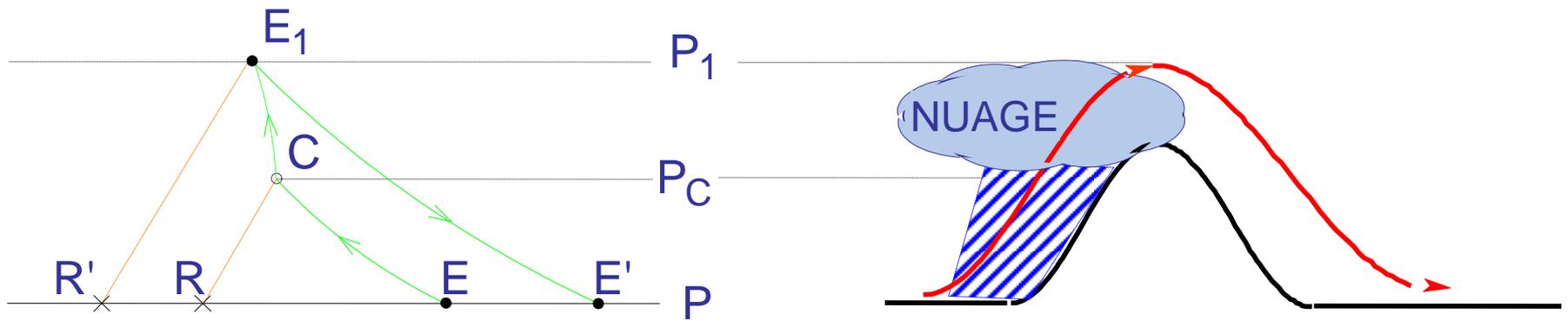
Saturation par mélange



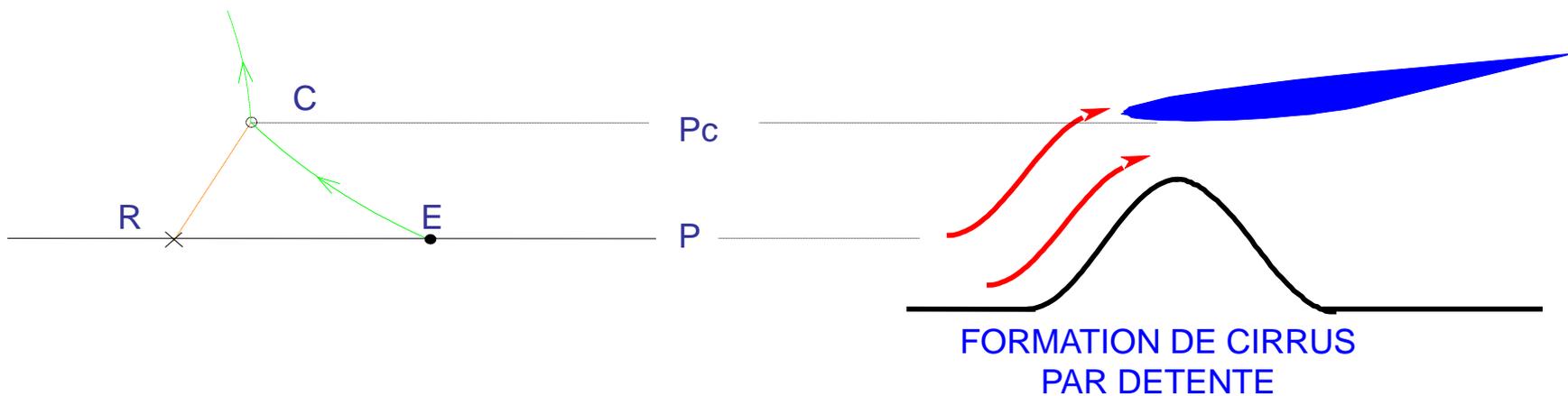
Condensation par turbulence



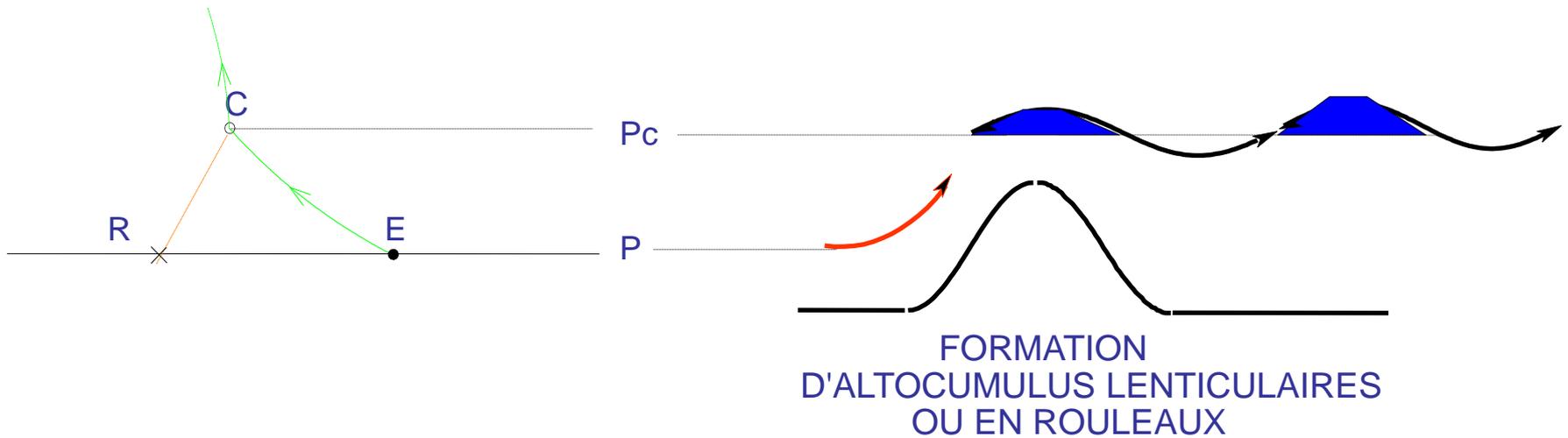
Effet de Foehn



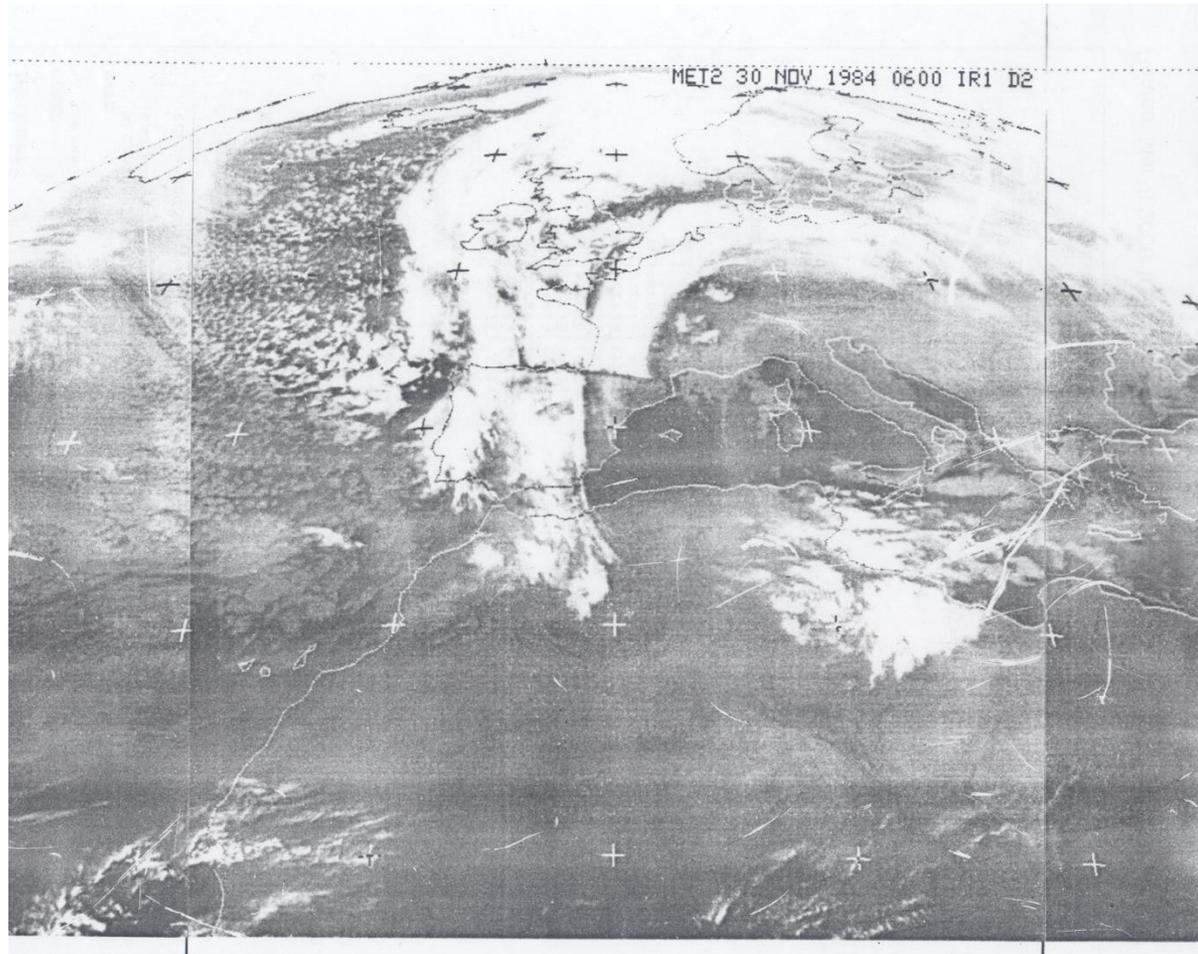
Effet de Foëhn



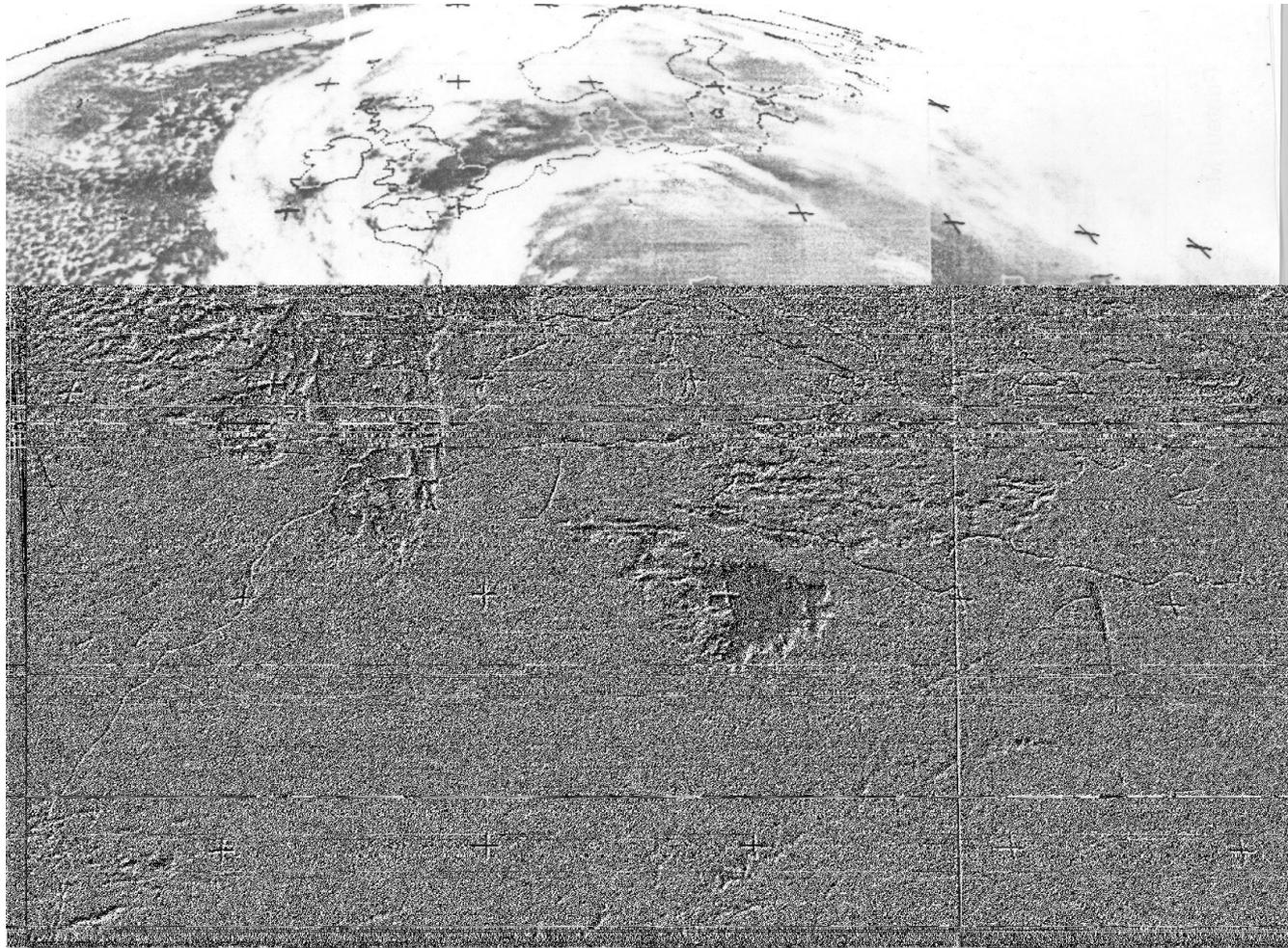
Effet de Foëhn



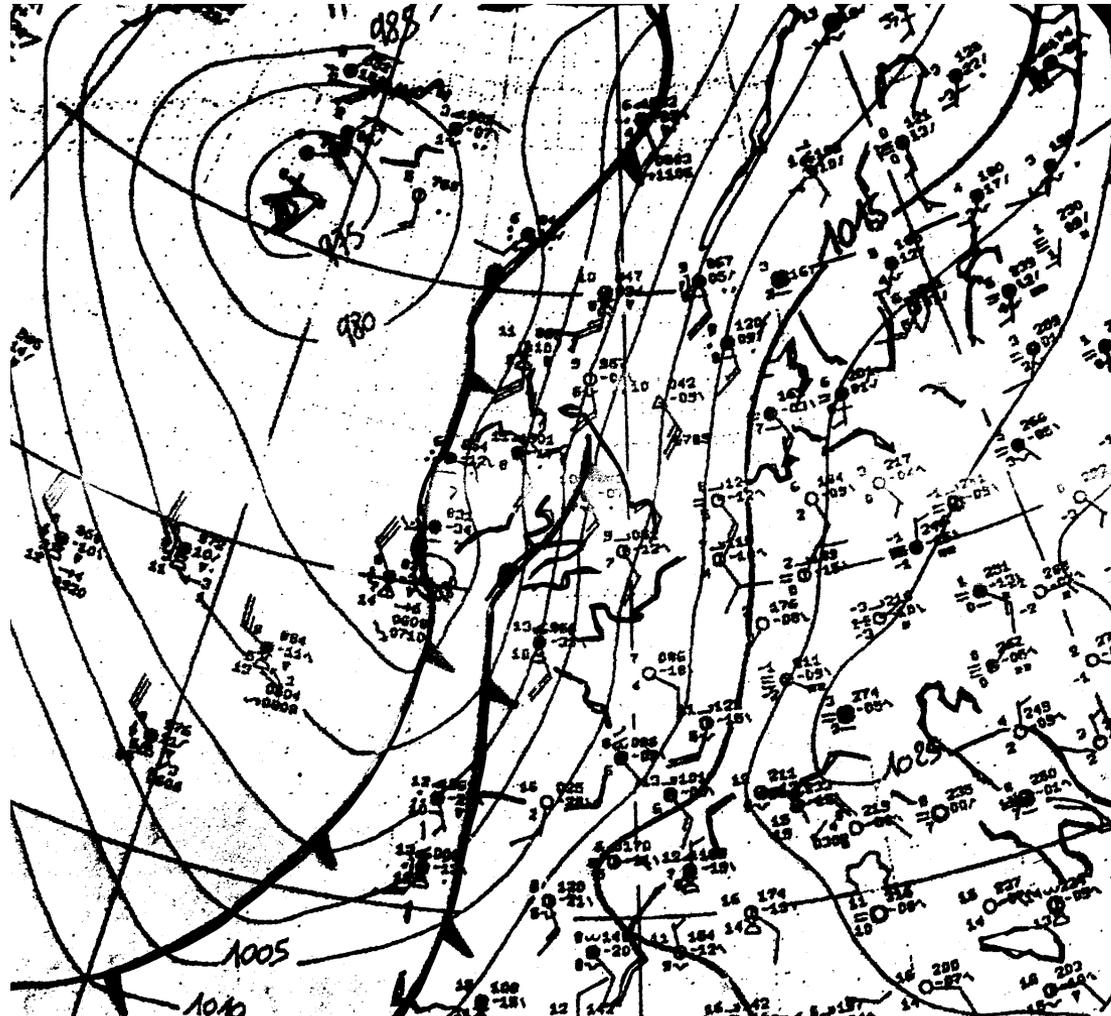
Foehn en altitude 1



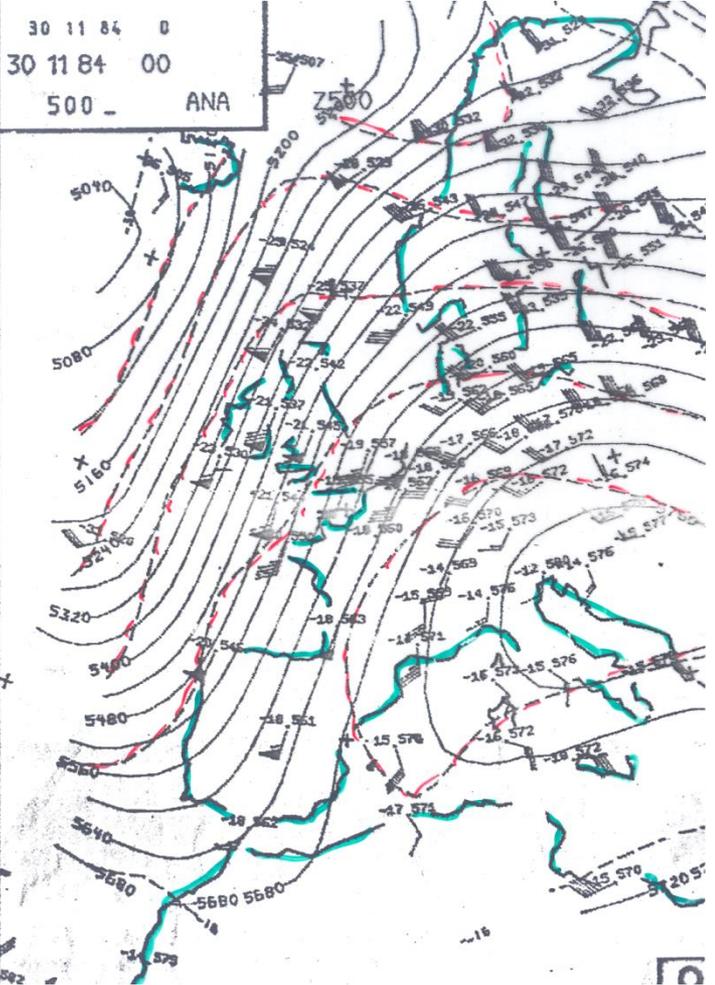
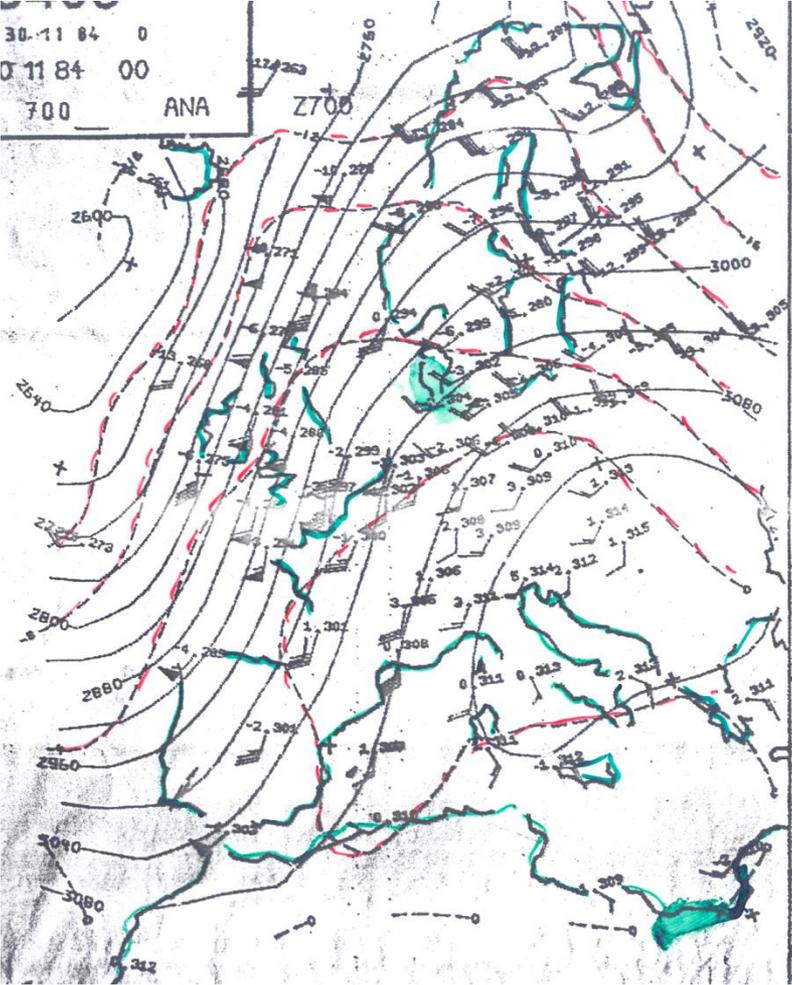
Foehn en altitude 2



Föhn



Föhn



Trou de Foëhn

