



Notions de base sur les mécanismes de la pluie

Richard Saurel

Richard.Saurel@univ-amu.fr

Mécanisme simplifié de la pluie

- Evaporation de l'eau à la surface des océans et des terres, à partir de la rosée et des végétaux.
L'essentiel semble venir des océans Qui occupent 71% de la surface de la Terre.
- Condensation avec la variation d'altitude → nuages.
- Sursaturation en raison des effets du relief et/ou de la rencontre de courants d'air froid en altitude.
- Formation de gouttes.
- Précipitation des gouttes.

→ Commençons par l'évaporation.

Notion préalable: Les pressions partielles et la loi de Dalton

Définition: La pression partielle est la pression qu'exercerait le gaz s'il était **seul** dans le mélange et s'il occupait **l'ensemble** du volume, tout en étant à la **même température** que les autres constituants gazeux.

$$P_1 V = n_1 \hat{R} T$$

$$P_2 V = n_2 \hat{R} T$$

$$P_N V = n_N \hat{R} T$$

$$P = \sum_{j=1}^N P_j = \frac{\hat{R} T}{V} \sum_{j=1}^N n_j$$

$$\frac{P_j}{P} = \frac{n_j}{\sum_{j=1}^N n_j} = x_j$$

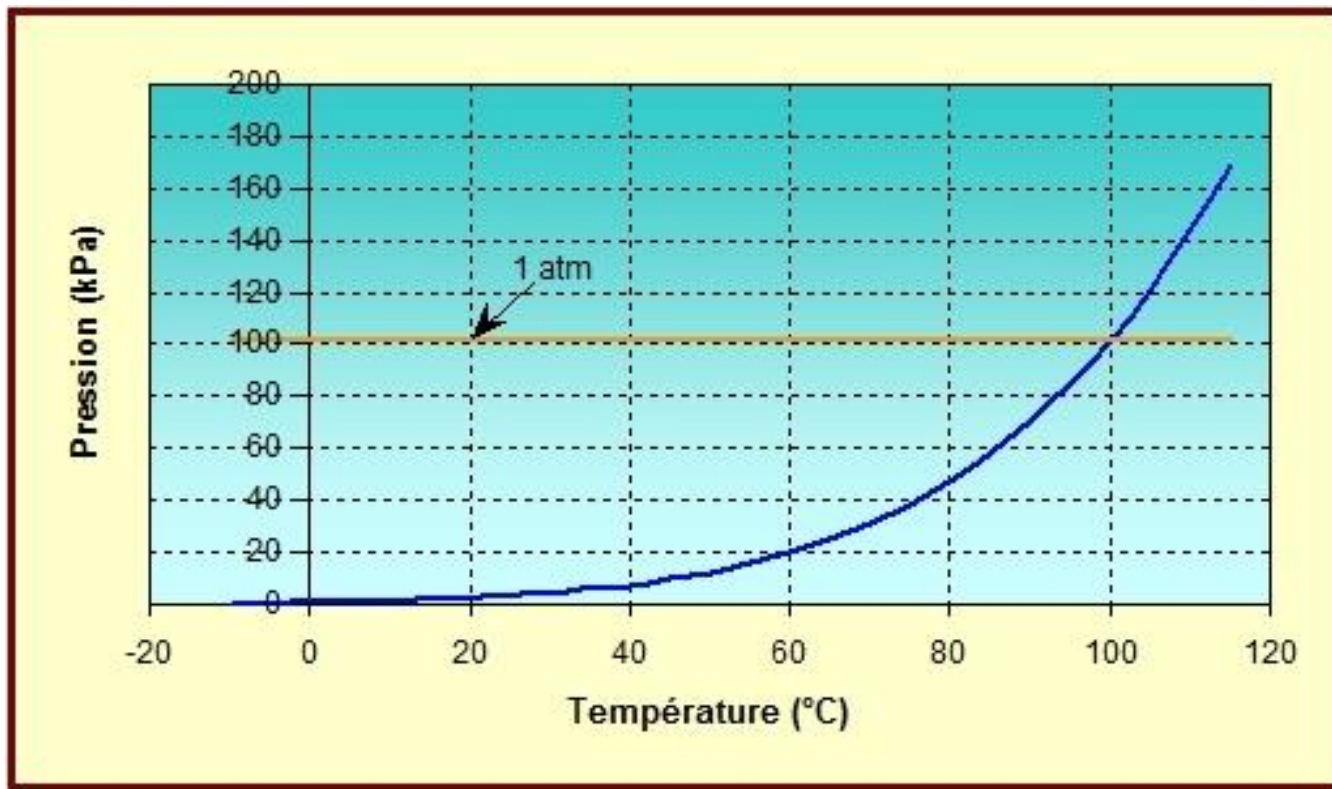
Concentration de vapeur à saturation dans l'air

- A pression atmosphérique l'eau bout à 100°C.
- Mais dans l'air ambiant il y a de la vapeur d'eau, en proportions croissante lorsque T augmente sans avoir à atteindre 100°C.
- A une température donnée :

$$P_{\text{pvapeur}} = P_{\text{sat}}(T)$$

Ce qui impose une certaine fraction molaire de vapeur dans l'air:

$$x_v = \frac{n_v}{n_v + n_{\text{air}}} = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T)}{P_{\text{ambiante}}}$$



- A 40°C la pression de vapeur saturante est de 0.1 atm environ.
- L'air ambiant peut donc contenir une concentration molaire de vapeur de

$$x_v = \frac{n_v}{n_v + n_{\text{air}}} = 0.1 = 10\%$$

à cette température.

Mais la vapeur est générée à la surface de la mer

$$X_v = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T_{\text{mer}})}{P_{\text{ambiante}}}$$

Si la température de la mer augmente, la concentration de vapeur d'eau à sa surface augmente aussi.

Comme l'atmosphère est en général à une température supérieure à celle de la mer, l'air peut absorber cette vapeur sans en être saturé.

La concentration molaire à saturation est:

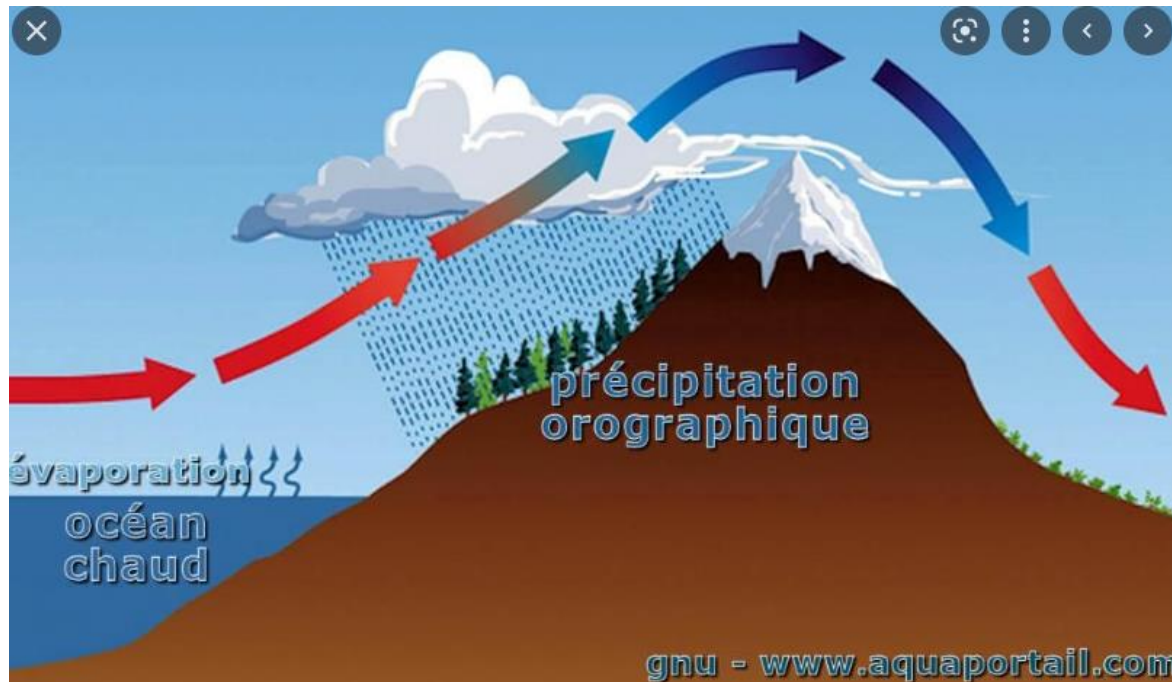
$$X_{\text{vsat}} = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T_{\text{atmosphere}})}{P_{\text{ambiante}}}$$

L'air absorbe cette vapeur sans en être saturé.

On dit qu'il y a 100% d'humidité quand l'air contient cette concentration X_{vsat} ce qui est le cas en Afrique équatoriale par exemple, ou en France en été lorsque le vent est faible à proximité de la mer.

Puis le relief intervient

- La vapeur est générée à la surface de la mer.
- Puis les nuages s'élèvent par la force d'Archimède et le mouvement est accentué par le relief.



- En altitude la pression et la température ambiante diminuent.

P diminue pour des raisons hydrostatiques : $P + \rho gz = cste$

T diminue car le volume augmente pour atteindre la pression extérieure : $PV^\gamma = cste$

$$T = \frac{K}{P^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

Comme T diminue ...

$$X_{\text{vsat}} = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T_{\text{atmosphere}})}{P_{\text{ambiante}}}$$

La concentration de vapeur maximale admissible (concentration à saturation) diminue avec l'altitude.

La vapeur d'eau qui provient de la mer, ou de zones où la température ambiante est plus grande et dans lesquelles la vapeur d'eau s'est concentrée, doit donc se condenser en gouttelettes.

L'air contient $X_{\text{vair}} > X_{\text{vsat}}$ ce qui est inadmissible et est source de génération de

gouttelettes pour que $X_{\text{vair}} = X_{\text{vsat}}$.

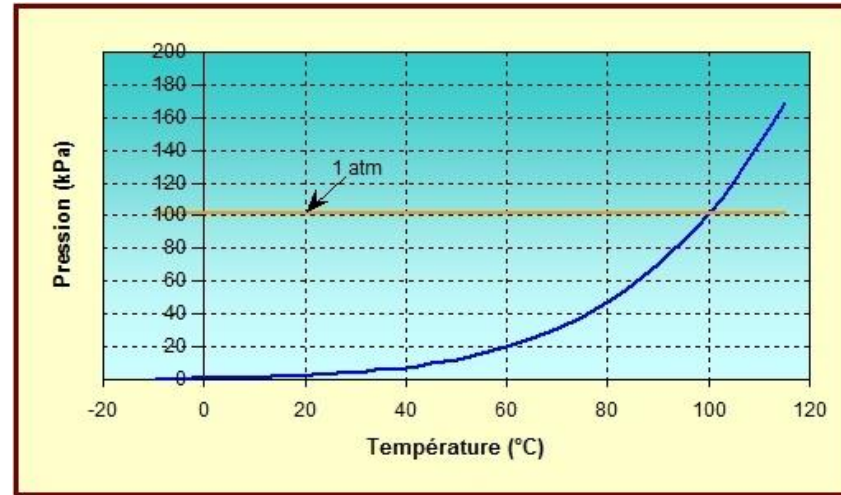
Par la suite, les gouttes grossissent si l'altitude continue d'augmenter (ou la température diminue par contact avec des masses d'air froid) et la pluie apparaît.

Plusieurs fonctions interviennent donc ...

Thermodynamique

$$X_{\text{vsat,mer}} = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T_{\text{mer}})}{P_{\text{ambiante}}}$$

$$X_{\text{vsat}} = \frac{P_{\text{pvapeur}}(T_{\text{atmosphere}})}{P_{\text{ambiante}}}$$



$$P + \rho g z = \text{cste}$$

Hydrostatique

$$T = \frac{K}{P^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

Expansion de l'air pour satisfaire la pression atmosphérique.

Le mécanisme fondamental de la pluie est ici résumé. Mais ceci se complique car la température de l'air résulte aussi des mouvements d'air d'autres lieux → météo.

A partir d'informations météo

Bulletin d'alerte : 80 mm de précipitations en 24h.

$$h = 80 \text{ mm} = 0.08 \text{ m}$$

$$24h = 24 * 3\,600s = 86\,400 \text{ s}$$

$$\dot{h} = \frac{0.08}{86400} \approx 10^{-6} \text{ m/s}$$

Il s'agit ici d'une valeur moyenne. Les précipitations ont été moyennées sur la journée.

Modèle d'écoulement 1D avec pluie

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = \dot{h} \approx 10^{-6} \quad (\text{dans l'exemple précédent})$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right)}{\partial x} = -gh \frac{\partial b}{\partial x}$$

La pluie, qui se résume au terme \dot{h} n'apparaît pas dans l'équation du mouvement.

Pourquoi ?

Par ailleurs, la pluie toute seule ne conduirait pas à des catastrophes.

Mais conjuguée aux effets de relief (vallées, rivières), des crues et inondations résultent de ces deux effets conjugués.

Facteurs de risque

- Température de la mer élevée → forte évaporation.
- Pente abrupte du relief → condensation et pluies fortes.
- Rencontre de masses d'air chaudes venant de la mer avec des masses d'air froides.
- Vallées étroites → focalisation du débit et de la hauteur d'eau.
- Phénomène fréquent dans les Cévennes (épisode Cévenol) . Récemment dans les Alpes Maritimes.

Autres facteurs aggravants

Montée du niveau de la mer et saturation des sols.

Montée du niveau de la mer → blocage du débit des rivières.