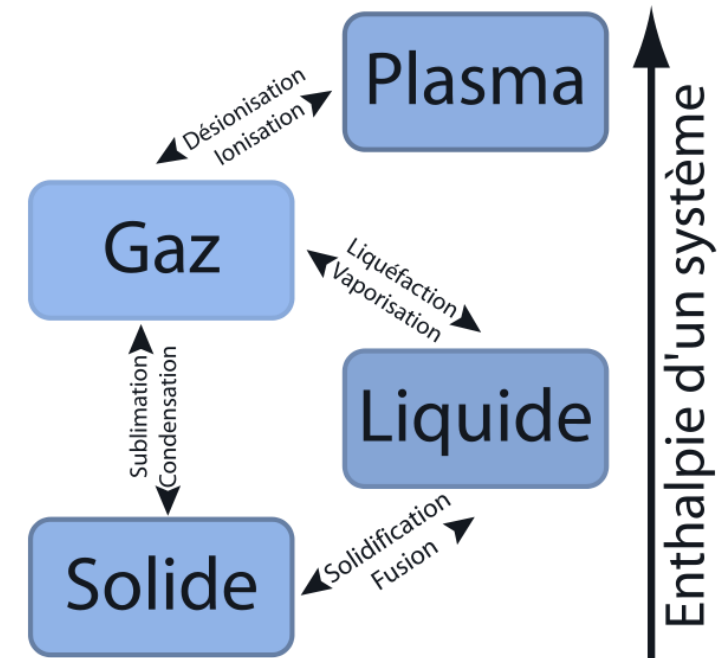


Objectifs

- Étude du changement d'état physique liquide- vapeur ;
- Comprendre le concept d'équilibre liquide –vapeur;
- Interpréter un diagramme de phase (P,T);
- Calculer la pression de vapeur d'une substance à une température donnée;
- Définir le point d'ébullition (point de bulle) d'une substance;
- Définir la chaleur latente de vaporisation.

Changement d'état physique

- Une substance pure peut exister sous **trois phases physiques** usuelles, entre lesquelles il est possible de passer par des transformations;
- Ces transformations sont physiques et sont appelées des **changements d'état**;
- Les différents changements physiques possibles sont illustrés sur le schéma ci-contre;

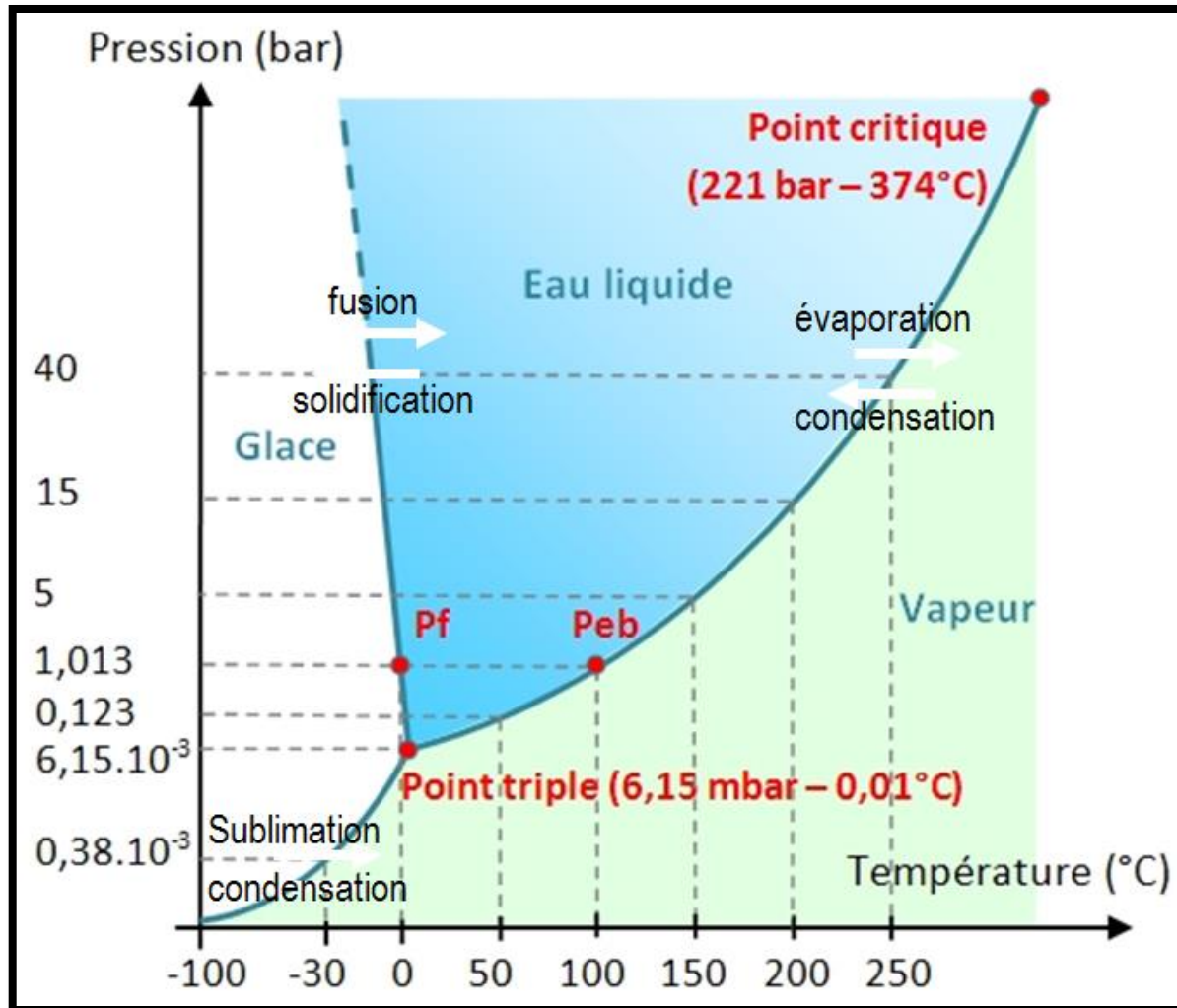


La nature chimique (le type de particules constituant la substance) ne change pas

Exemples: Fusion, Ébullition et sublimation



Diagramme d'équilibre de phases : Eau



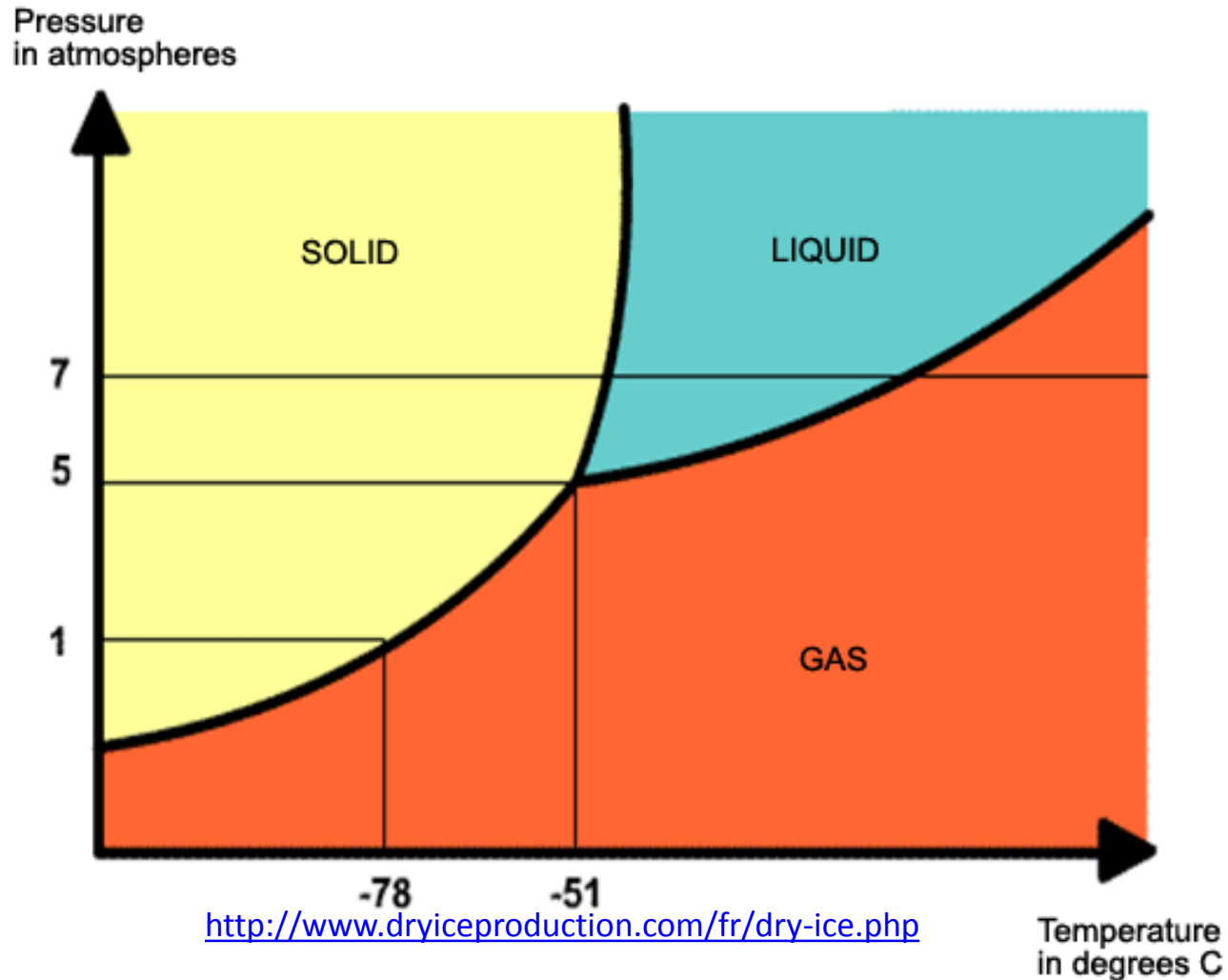
- **La traversée** d'une courbe d'équilibre du diagramme (P,T) représente la transformation physique;
- Durant le changement de phase (sur la ligne ou courbe), les deux états coexistent : l'état est dit **diphasé**
- **Le point triple** : Coexistence des trois états de la matière.

Le point triple pour l'eau :

$T = 273,16 \text{ K}$ (soit $0,01 \text{ °C}$) et $P = 611 \text{ Pa}$ (soit $0,006 \text{ atm}$)

Exemples: Fusion, Ébullition et sublimation

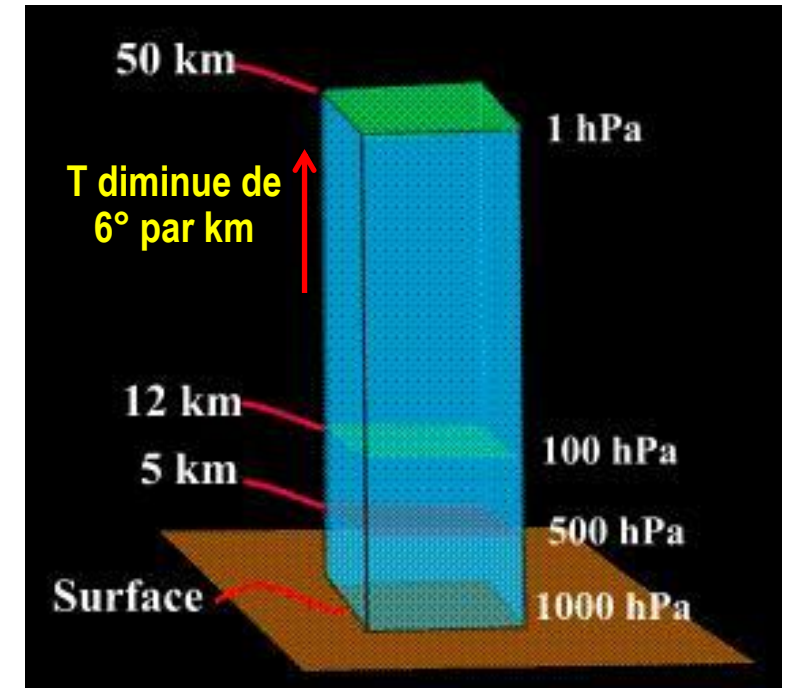
CO₂ Phase Changes



Le CO₂ dans l'extincteur se trouve à -78 °C (gazeux) à sa sortie devient neige carbonique (solide)

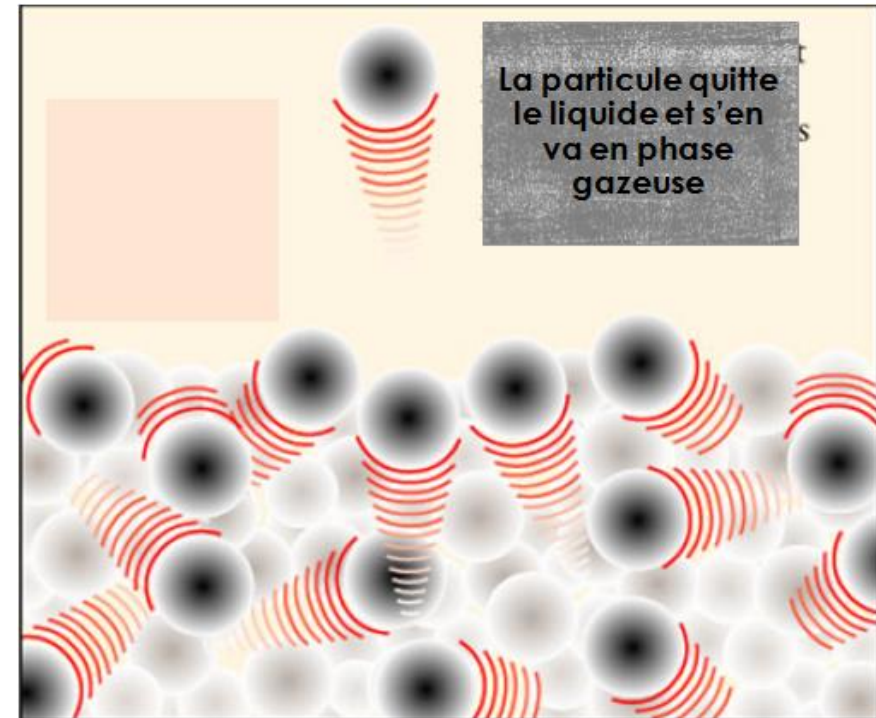
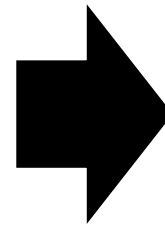
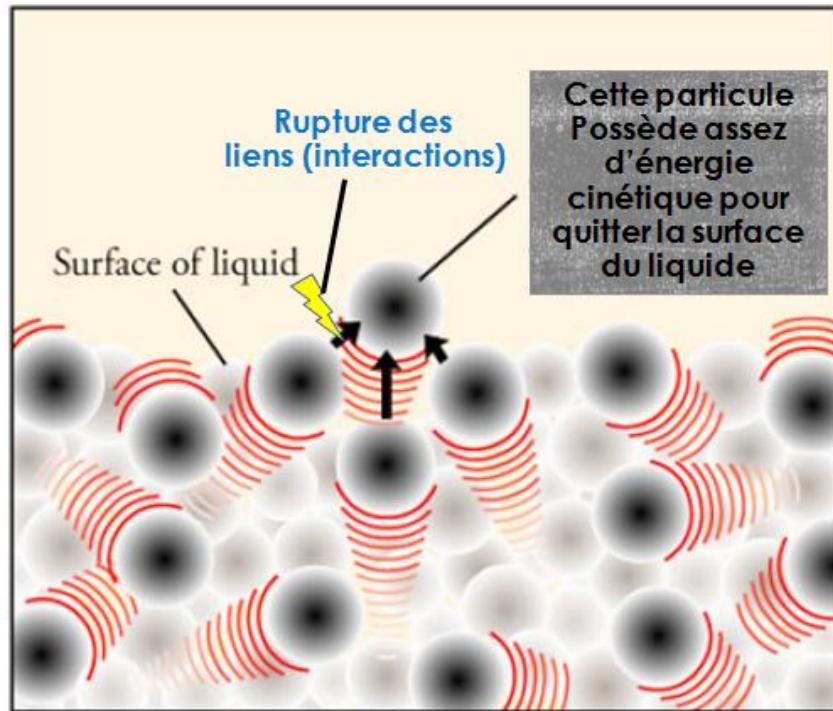
Changement d'état physique

- Lors d'un changement d'états Physiques, il se produit des modifications importantes des propriétés physiques (optiques, électriques et mécaniques)
- **Facteurs affectant :**
 - i. La pression
 - ii. La température
- Exemple: à 4000 m (**P diminue**) l'eau s'évapore à **85 °C**;



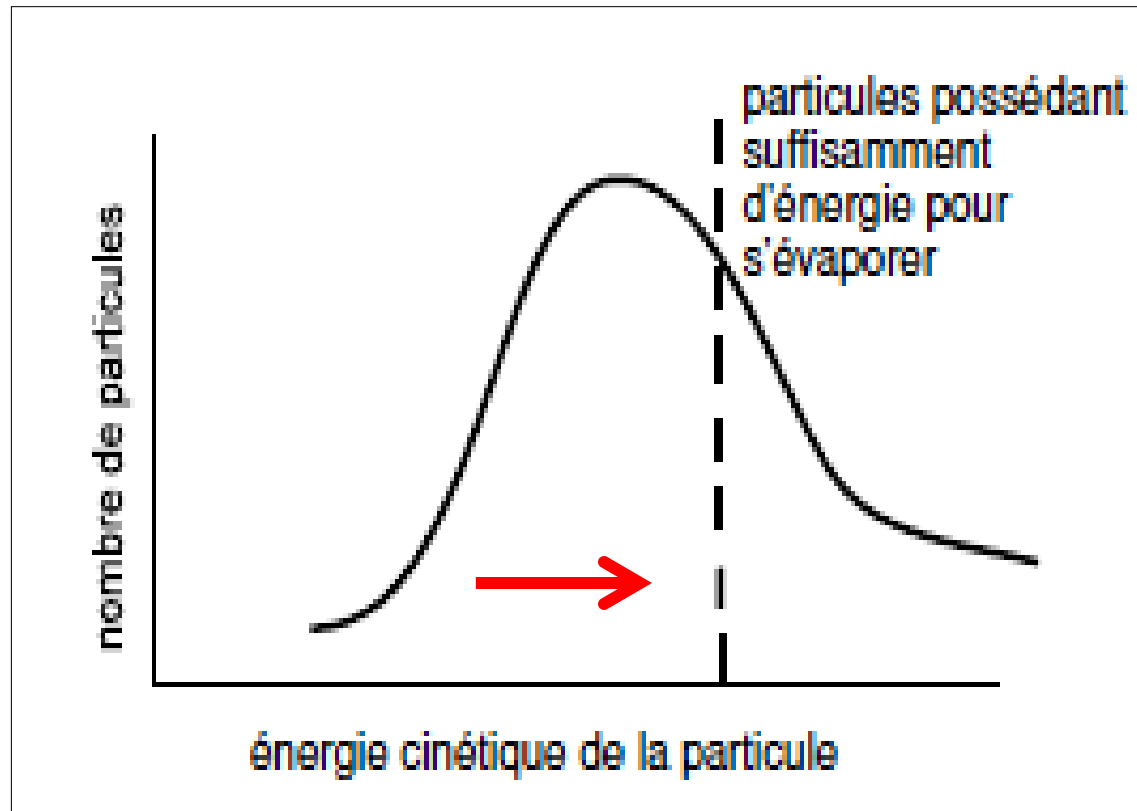
Évaporation :

passage d'une particule d'une substance de l'état liquide vers l'état gazeux



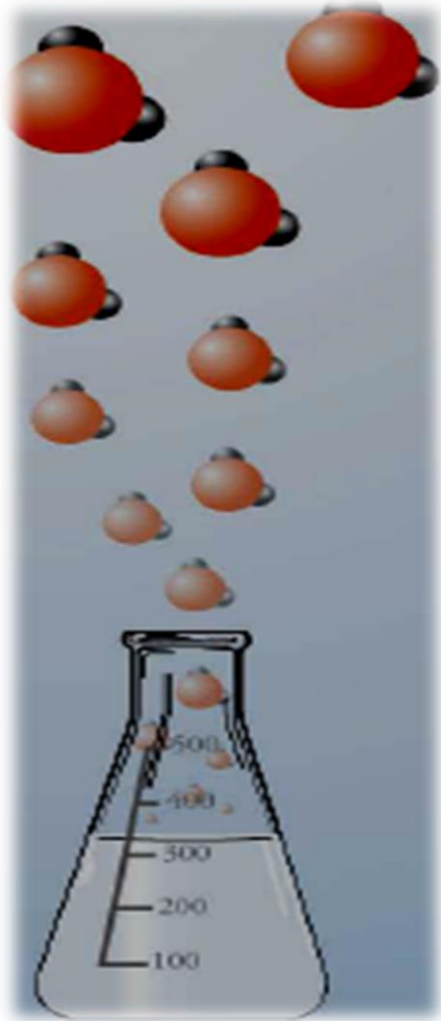
Les forces d'attraction ➡ de la cohésion des particules ➡ forme un liquide
➡ incompressibilité

Le chauffage



- La **température** affecte directement l'**énergie cinétique** des particules.
- Quand la **température** augmente, l'énergie cinétique des particules se **déplace vers la droite**.
- **Pas toute** les particules qui auront l'**énergie cinétique suffisante** pour s'évaporer

Critères d'évaporation



Comment passer de l'état liquide à l'état vapeur ?

- Il faut **vaincre** les **forces de cohésion** entre particules;
- Il faut une énergie suffisante (**énergie cinétique**), pour **se libérer des forces d'attractions** dans le réseau;
- Le **seuil d'énergie** nécessaire pour ce faire, dépend de l'intensité des forces dans le liquide (**la substance elle-même**);
- Toutes **les particules** n'ont **pas la même énergie** (la proportion des particules ayant l'énergie minimum dépend de la distribution de vitesses, donc **de la température**;

Le taux d'évaporation

- Le taux d'évaporation étant le nombre de particules par seconde, quittant le liquide pour aller dans la phase gazeuse.
- Il dépend de:
 - i. la surface du liquide
 - ii. la force d'attraction entre les particules du liquide (la substance)
 - iii. la température

Condensation

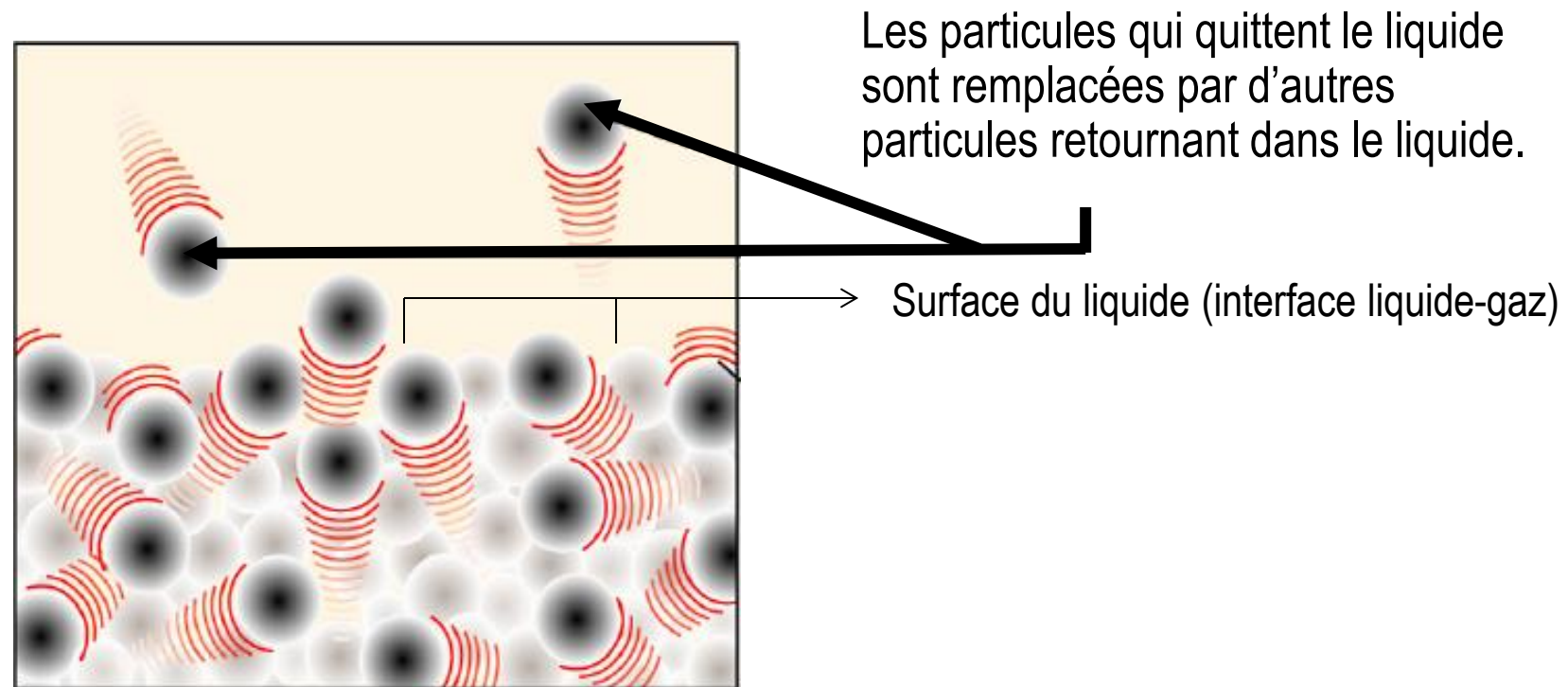
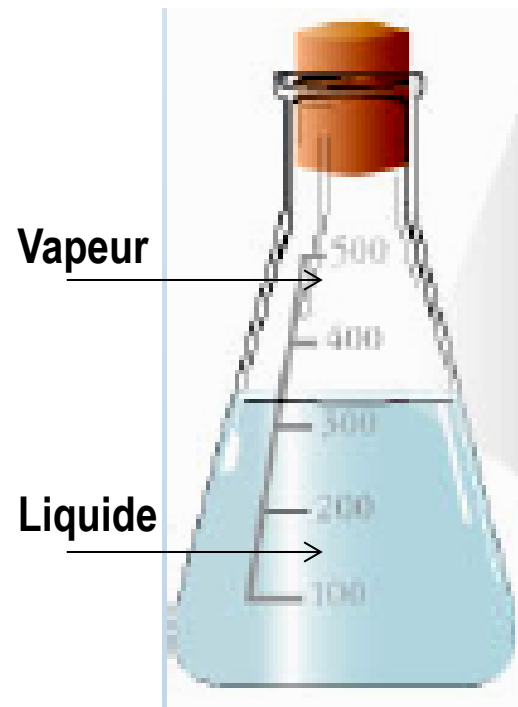
Comment une particule de gaz peut-elle passer à l'état liquide ?

En collision avec la surface du liquide :

- i. Si l'énergie cinétique de la particule est élevée, la particule va rebondir (demeurera à l'état gazeux).
- ii. Si l'énergie cinétique de la particule est faible, la particule sera capturée par le réseau d'interaction (forces d'attraction) dans le liquide et y demeurera.

Équilibre Liaquide-Vapeur

Nombre de particules quittant le liquide = Nombre de particules retournant dans le liquide.



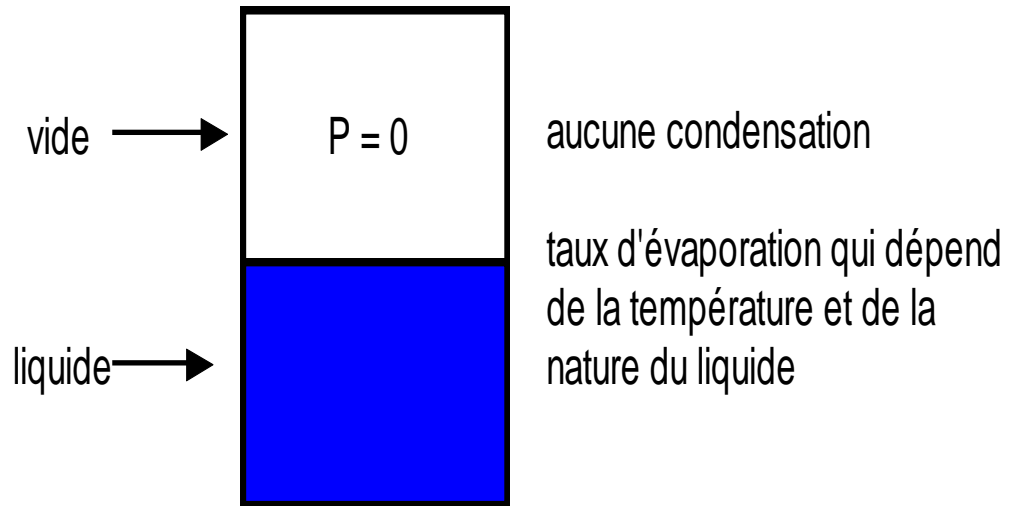
La vapeur est en équilibre avec le liquide

Équilibre Liaquide-Vapeur

- un état d'équilibre sera décrit par un couple de valeurs, la température et la pression du gaz au-dessus du liquide :
 - i. cette pression sera appelée pression de vapeur, pression de saturation ou encore, pression d'équilibre;
 - ii. la température d'équilibre;

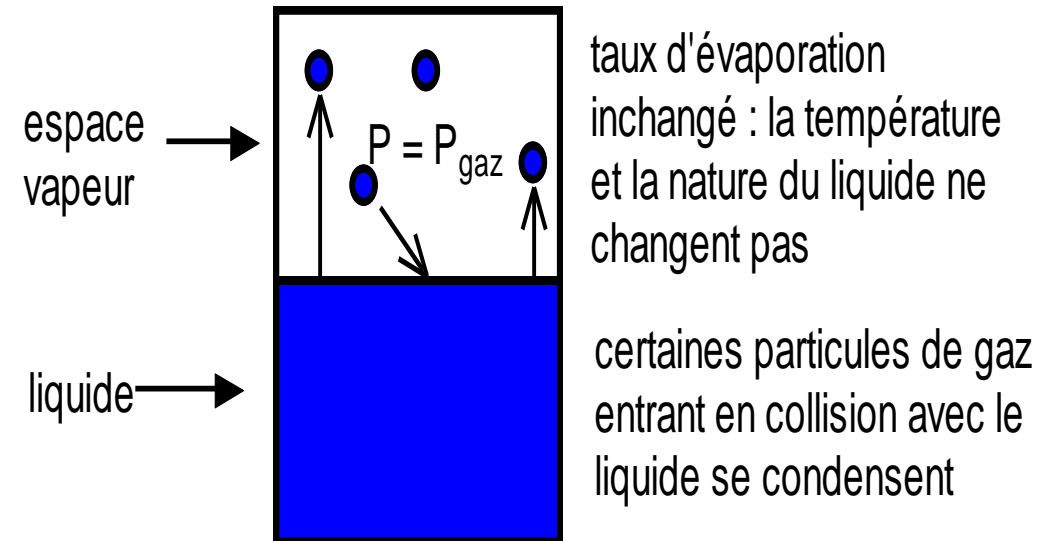
Évolution de la pression de vapeur

Début de l'expérience :



Au début

Après quelques instants :



Après u moment

Effet de la température sur la pression de vapeur

Augmenter la température →

Augmenter le taux d'évaporation



Augmenter le taux de condensation est nécessaire
pour un nouvel état d'équilibre



L'augmentation de la concentration des particules de vapeur, Augmentera le
taux de condensation



Augmenter la pression de vapeur d'équilibre

Pression de vapeur : équation d'antoine

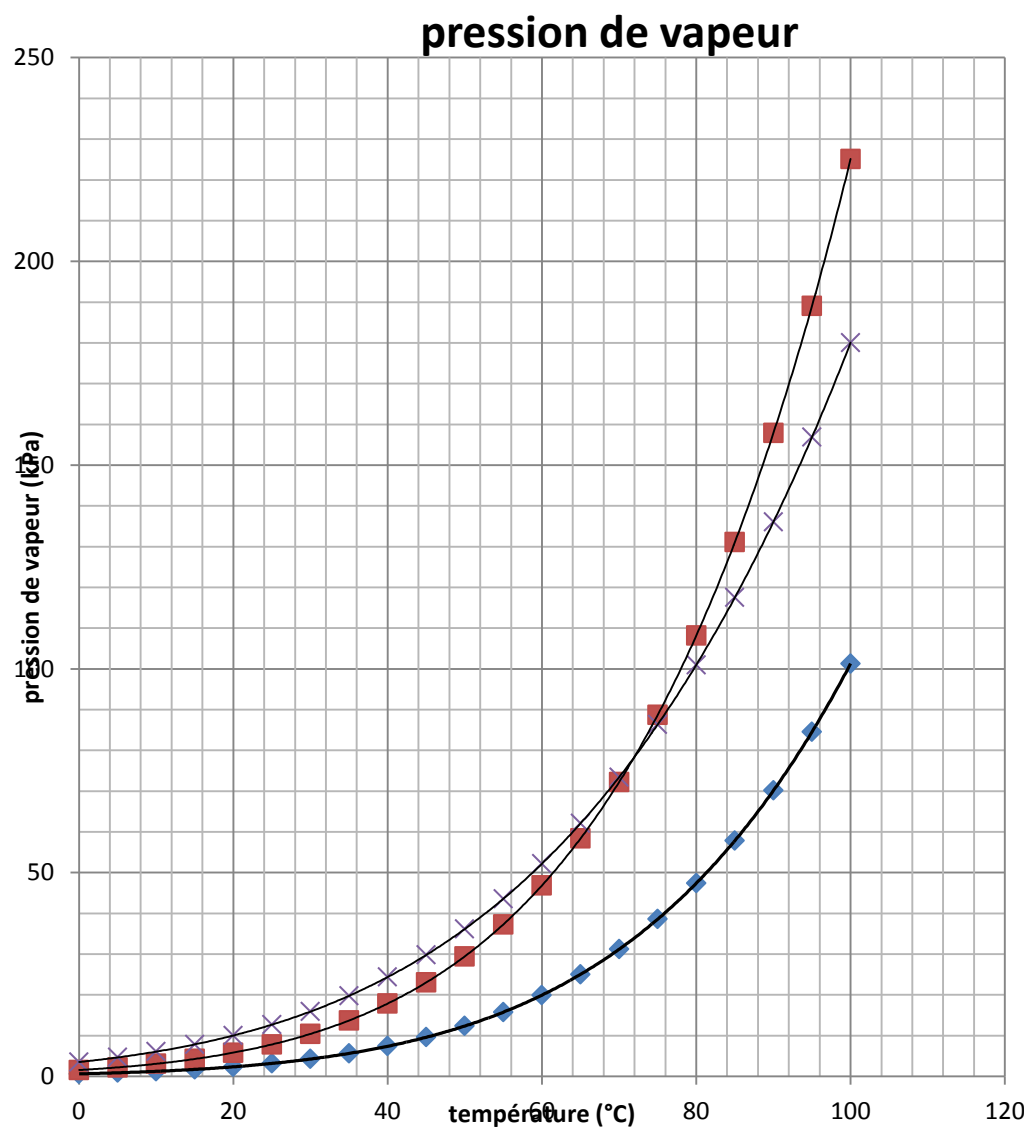
$$\log(P_{\text{eau}}^0) = 10,23 - \frac{1750}{T + 235}$$

Où :

- T est la température de l'eau en °C
- P_{eau}^0 la pression de vapeur de l'eau en **Pa**.

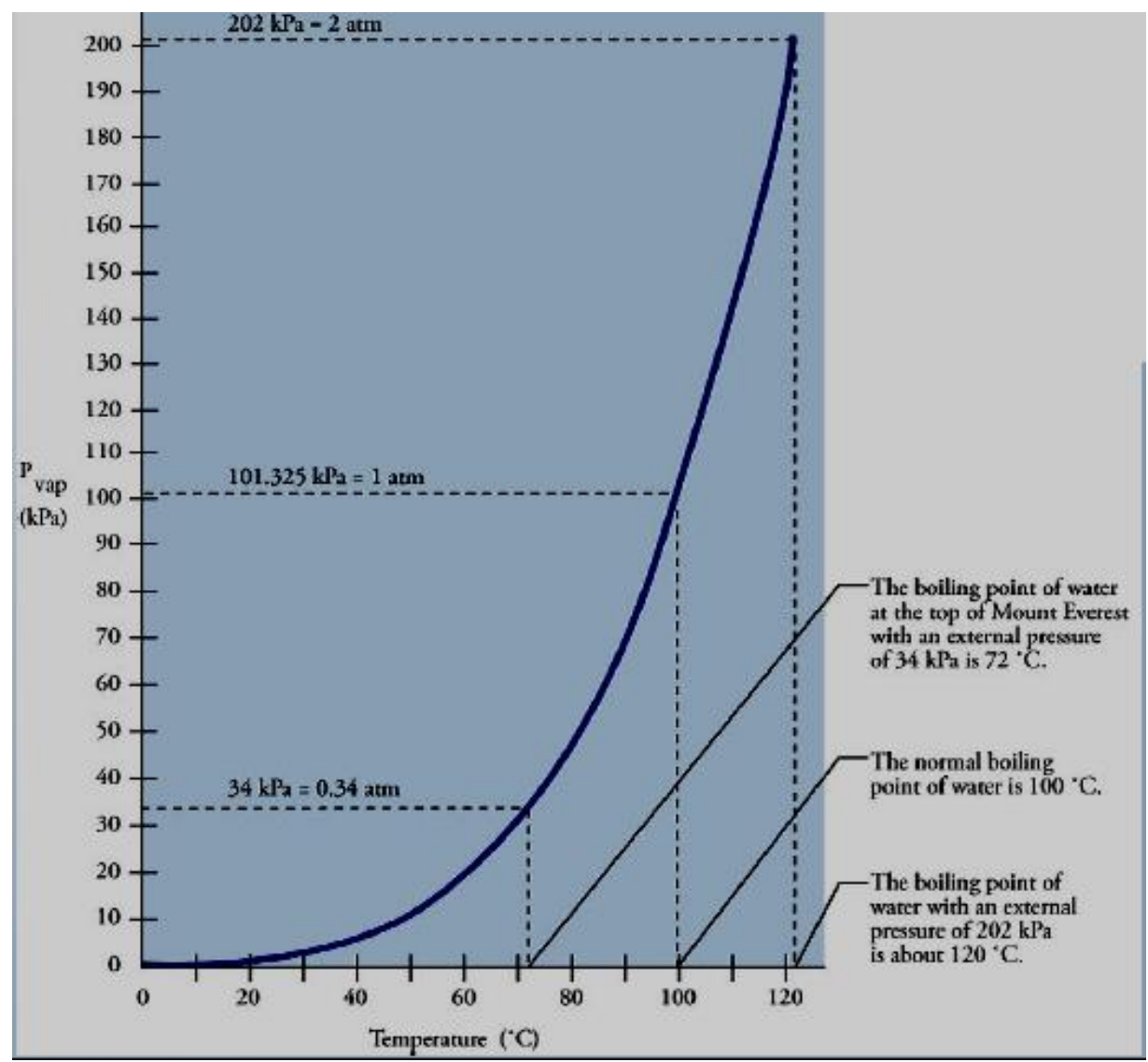
- La pression de vapeur saturante est liée à la tendance des molécules à passer de l'état liquide (ou solide) à l'état gazeux :
- Une substance possédant une pression de vapeur saturante **élevée** (vis à vis de la pression atmosphérique) à température ambiante est dite **volatile**.

Eau/Acétone/Benzène : P_{vap} vs T



- ◆ eau
- éthanol
- × benzène

Eau : P_{vap} vs T



Exercice d'application 1

- Quelle est la pression de vapeur du méthanol à 40 °C ?
→ Il faut la chercher directement dans le **tableau 2.1**
- Calculez sa pression de vapeur à une autre température qui n'existe pas dans le tableau 2.1 (il faut utiliser l'équation d'Antoine);

Exemple : la pression de vapeur du méthanol à 23 °C ?

$$\rightarrow \text{solve} \left(\log_{10}(P_{\text{méthanol}}) = 10.204 - \frac{1581,3}{23 + 239,65}, p \right)$$

Ou encore :

$$\rightarrow P = 10^{10.204 - \frac{1583}{23 + 239.65}}$$

Exercice d'application 2

Un système cylindre-piston d'une capacité de deux litres contient un litre de méthanol liquide à 25°C. Le système est à l'équilibre.

- a. Quelle est la pression (partielle) du méthanol au-dessus du liquide?
- b. Le piston est abaissé lentement jusqu'à ce que le volume de gaz soit 0,250 L alors que la température est constante. Après quelque temps et atteinte de l'équilibre, quelle sera la pression (partielle) du méthanol au-dessus du liquide?
- c. Le système est chauffé jusqu'à 40°C à volume constante. Lorsque l'équilibre est atteint, quelle sera la pression (partielle) du méthanol au-dessus du liquide?

Point d'ébullition et chaleur latente de vaporisation

- **Point d'ébullition :**

Température à laquelle la pression de vapeur est égale à la pression atmosphérique standard 1 atm (101,325 kPa).

- **Chaleur latente de vaporisation ΔH_{vap} :**

Énergie nécessaire pour transformer une substance liquide en vapeur à la température d'ébullition ; lors de la condensation, cette énergie est restituée à l'environnement.

Chaque substance a une chaleur latente spécifique.



Exercice d'application 3

Quel est le point d'ébullition du méthanol, sachant que l'équation d'Antoine pour cette substance est :

$$\log P_{\text{méthanol}}^o = 10,204 - \frac{1581,3}{T + 239,65}$$

Au point d'ébullition du méthanol, la pression = pression atmosphérique de vapeur de méthanol

- $P^o_{\text{méthanol}} = 101,3 \times 10^3 \text{ Pa}$
- $\log(P^o_{\text{méthanol}}) = \log(101,3 \times 10^3) = 5.00561$
- $\text{solve} \left(10.24 - \frac{1581.3}{T+239.65} = 5.00561, T \right)$
- $T = 62.45^\circ$ (vous pouvez vérifier sur le tableau 2.1)