

# S16 – États de la matière, changements d'état, transferts thermiques et variabilité

## 1 Les états de la matière

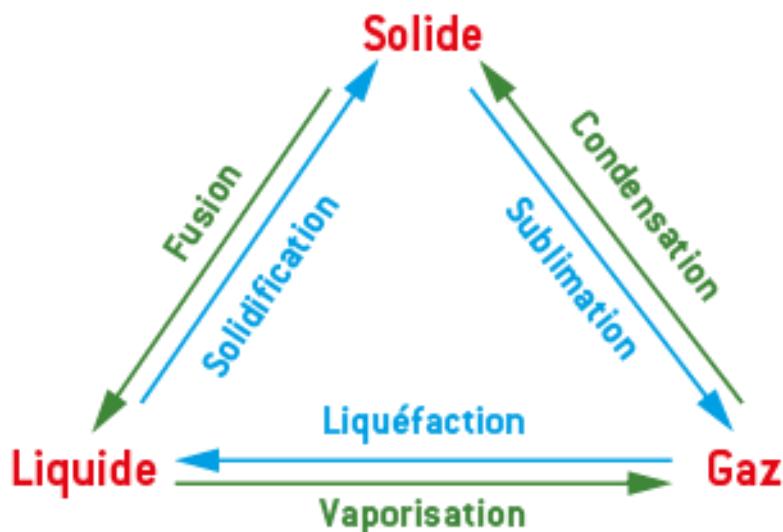
### Définition

La **matière** peut exister sous trois états physiques :

État	Description microscopique	Exemple cosmétique
<b>Solide</b>	Particules organisées, peu mobiles	Cire, beurre végétal à 20 °C
<b>Liquide</b>	Particules mobiles, volume défini	Huile, eau, gel
<b>Gaz</b>	Particules très mobiles, occupent tout l'espace	Vapeur d'eau, propulseur aérosol

### Les changements d'état

Un **changement d'état** est le passage d'un état physique à un autre, sous l'effet d'une variation de **température** ou de **pression**.



Changement	Sens	Exemple cosmétique
Fusion	Solide → Liquide	Beurre de karité fond à 35 °C

Changement	Sens	Exemple cosmétique
<b>Solidification</b>	Liquide → Solide	Cire liquide refroidit dans un stick
<b>Vaporisation</b>	Liquide → Gaz	Eau d'un spray s'évapore sur la peau
<b>Liquéfaction</b>	Gaz → Liquide	Vapeur d'eau condense sur un miroir froid
<b>Sublimation</b>	Solide → Gaz	Neige carbonique ( $\text{CO}_2$ solide) → gaz
<b>Condensation</b>	Gaz → Solide	Givre (vapeur → glace)

★ À RETENIR :

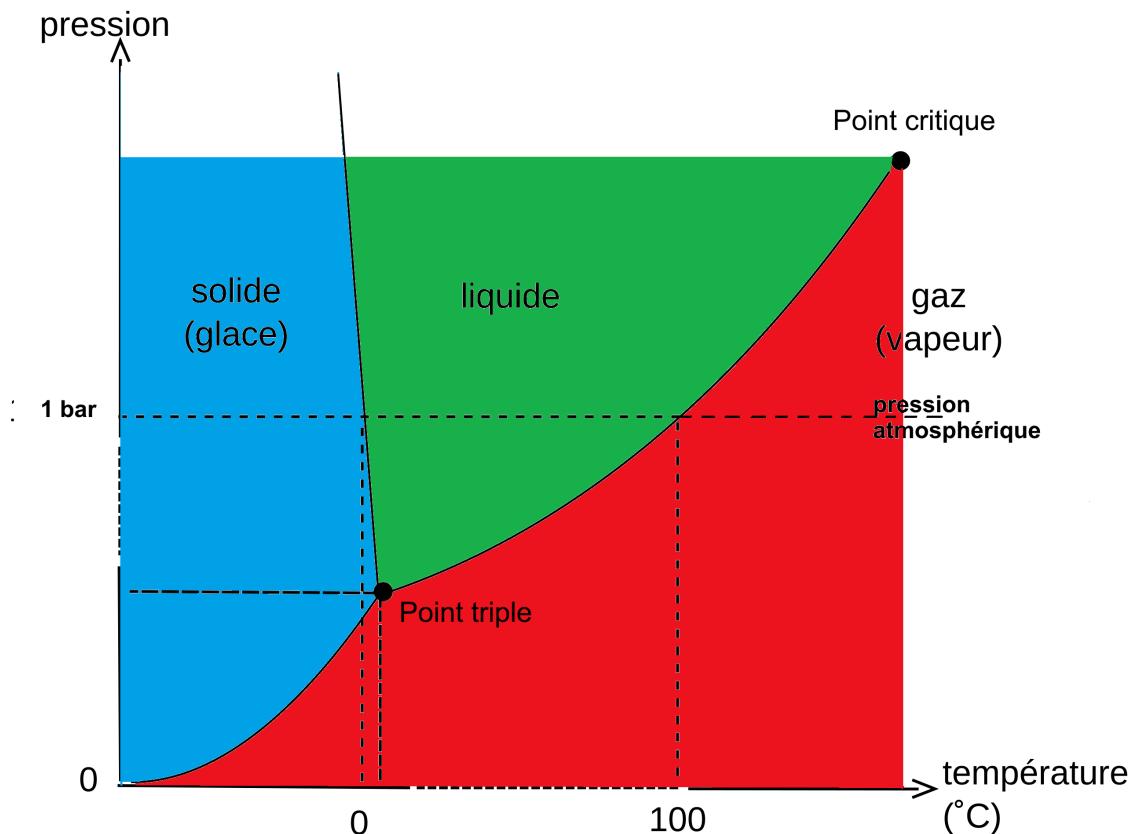
- Les changements d'état sont RÉVERSIBLES
- Ils dépendent de la TEMPÉRATURE et de la PRESSION
- À pression constante, chaque substance a des températures caractéristiques de fusion et d'ébullition

## 2 Le diagramme d'état (ou diagramme de phase)

### Définition

Un **diagramme d'état** représente l'état physique d'une substance en fonction de deux paramètres : la **température (T)** et la **pression (P)**.

# Lecture du diagramme



Zone	État	Comment la repérer
Zone bleue	Solide	Basses températures, hautes pressions
Zone verte	Liquide	Températures moyennes, pressions moyennes
Zone rouge	Gaz	Hautes températures, basses pressions

## Ligne de référence : pression atmosphérique (1 bar)

À **pression atmosphérique** (1 bar = pression au niveau de la mer), on suit une ligne horizontale :

- **En dessous d'une température  $T_1$**  : la substance est **solide**
- **Entre  $T_1$  et  $T_2$**  : la substance est **liquide**
- **Au-dessus de  $T_2$**  : la substance est **gazeuse**

### Exemple : l'eau à 1 bar

- $T < 0 \ ^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{glace}$  (solide)
- $0 \ ^{\circ}\text{C} < T < 100 \ ^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{eau liquide}$
- $T > 100 \ ^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{vapeur}$  (gaz)

# Influence de la pression

☞ À RETENIR :

- Plus la PRESSION augmente, plus la température de changement d'état augmente
- Exemple : en montagne (P faible), l'eau bout en dessous de 100 °C
- Exemple : dans un autoclave (P élevée), l'eau bout au-dessus de 100 °C ( $\rightarrow$  120 °C à 2 bar)

## Application en cosmétique

Situation	Lien avec le diagramme d'état
<b>Formulation de stick</b>	Chauffer cire/beurre pour fusion (liquide) $\rightarrow$ couler dans moule $\rightarrow$ refroidir (solidification)
<b>Stérilisation autoclave</b>	Augmenter P pour augmenter T d'ébullition $\rightarrow$ stériliser à 120 °C
<b>Conservation réfrigérée</b>	Abaissé T pour éviter fusion (ex. : beurre de cacao reste solide)
<b>Conditionnement aérosol</b>	Gaz propulseur liquéfié sous pression dans la bombe $\rightarrow$ libéré comme gaz à P atmosphérique

## 3 Les transferts thermiques

### Principe général

La **chaleur** se déplace spontanément d'un corps **chaud** vers un corps **froid** jusqu'à équilibre thermique.

Il existe **trois modes** de transfert thermique :

# 1. Conduction

**Définition :** Transfert de chaleur par **contact direct**, de proche en proche, **sans déplacement de matière**.

**Exemple :** Une cuillère métallique dans une tasse de thé chaud devient chaude.

**En cosmétique :**

- Chauffage direct d'un récipient métallique contenant une cire
- Spatule qui chauffe au contact d'une plaque

**Facteurs influents :**

- **Conductivité thermique** du matériau (métaux > verre > plastique)
- **Surface de contact**
- **Épaisseur** du matériau

# 2. Convection

**Définition :** Transfert de chaleur par le **mouvement d'un fluide** (liquide ou gaz).

**Mécanisme :**

- Le fluide chaud (moins dense) **monte**
- Le fluide froid (plus dense) **descend**
- Il se crée un **courant de convection**

**Exemple :** L'eau chaude monte dans une casserole, l'eau froide descend.

**En cosmétique :**

- **Bain-marie** : l'eau chaude circule et chauffe le récipient intérieur
- **Agitation** dans un réacteur : accélère le transfert par convection forcée
- **Ventilation** d'une étuve : l'air chaud circule pour sécher

# 3. Rayonnement

**Définition :** Transfert de chaleur par **ondes électromagnétiques, sans support matériel** (fonctionne même dans le vide).

**Exemple :** Le Soleil nous chauffe par rayonnement. Un four infrarouge émet des ondes IR.

#### En cosmétique :

- **Lampe infrarouge** en cabine esthétique
- **Four IR** pour polymériser un vernis
- **Exposition solaire** (UV → échauffement cutané)

**Caractéristique :** Tous les corps émettent un rayonnement thermique (plus un corps est chaud, plus il rayonne).

## Comparaison des trois modes

Mode	Support matériel ?	Exemple cosmétique
<b>Conduction</b>	Oui (contact direct)	Cire sur plaque chauffante
<b>Convection</b>	Oui (fluide en mouvement)	Bain-marie, étuve ventilée
<b>Rayonnement</b>	Non (ondes)	Lampe IR, four radiant

#### ★ À RETENIR :

- CONDUCTION = contact direct (métal chaud)
- CONVECTION = fluide qui circule (bain-marie)
- RAYONNEMENT = ondes (lampe infrarouge)

En pratique, plusieurs modes coexistent :  
Bain-marie = convection (eau) + conduction (paroi)

## Application en cosmétique : choix du mode de chauffage

Objectif	Mode recommandé	Justification
<b>Fondre un actif fragile</b> (vitamines, peptides)	<b>Bain-marie</b> (convection douce)	Chauffage progressif, homogène, sans surchauffe

Objectif	Mode recommandé	Justification
<b>Sécher rapidement</b>	<b>Étuve ventilée</b> (convection forcée)	Renouvellement constant de l'air chaud
<b>Chauder en surface</b> (peaux épaisses, modelage)	<b>Lampe IR</b> (rayonnement)	Pénétration en profondeur sans contact
<b>Stériliser</b>	<b>Autoclave</b> (convection + P élevée)	Température élevée (120 °C) garantie

## 4 La variabilité statistique (approfondissement de S08)

### Rappel S08 : moyenne et étendue

En S08, vous avez appris à calculer :

- **Moyenne** :  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
- **Étendue** :  $e = x_{max} - x_{min}$

On va maintenant **approfondir** avec deux outils complémentaires : l'**écart-type** et l'**histogramme**.

### L'écart-type ( $\sigma$ )

#### Définition

L'**écart-type** mesure la **dispersion** des valeurs autour de la moyenne. Plus  $\sigma$  est grand, plus les valeurs sont **dispersées**.

#### Formule

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Symbol	Signification
$\sigma$	Écart-type

Symbole	Signification
n	Nombre de mesures
$x_i$	Valeur de la mesure i
$\bar{x}$	Moyenne

## Méthode de calcul

**Étape 1 :** Calculer la moyenne  $\bar{x}$

**Étape 2 :** Pour chaque mesure, calculer l'écart à la moyenne :  $(x_i - \bar{x})$

**Étape 3 :** Élever chaque écart au carré :  $(x_i - \bar{x})^2$

**Étape 4 :** Calculer la moyenne des carrés des écarts :  $\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$

**Étape 5 :** Prendre la racine carrée :  $\sigma$

 La plupart des calculatrices scientifiques ont un mode "STAT" qui calcule automatiquement  $\sigma$ .

## Interprétation

$\sigma / \bar{x}$	Signification	Action
< 5%	Dispersion très faible → excellente répétabilité	 Valider les mesures
5–10%	Dispersion modérée → répétabilité acceptable	 Améliorer le protocole
> 10%	Dispersion importante → mauvaise répétabilité	 Revoir la méthode de mesure

### ☞ À RETENIR :

- L'écart-type ( $\sigma$ ) mesure la DISPERSION autour de  $\bar{x}$
- Plus  $\sigma$  est petit, plus les mesures sont REGROUPEES
- $\sigma$  petit = bonne répétabilité = méthode fiable
- $\sigma$  grand = mesures dispersées = revoir le protocole

# L'histogramme

## Définition

Un **histogramme** est un graphique en **barres** qui représente la **répartition** des mesures par **intervalles** de valeurs.

## Construction

**Étape 1 :** Définir des intervalles de valeurs (classes)

**Étape 2 :** Compter combien de mesures tombent dans chaque intervalle (effectif)

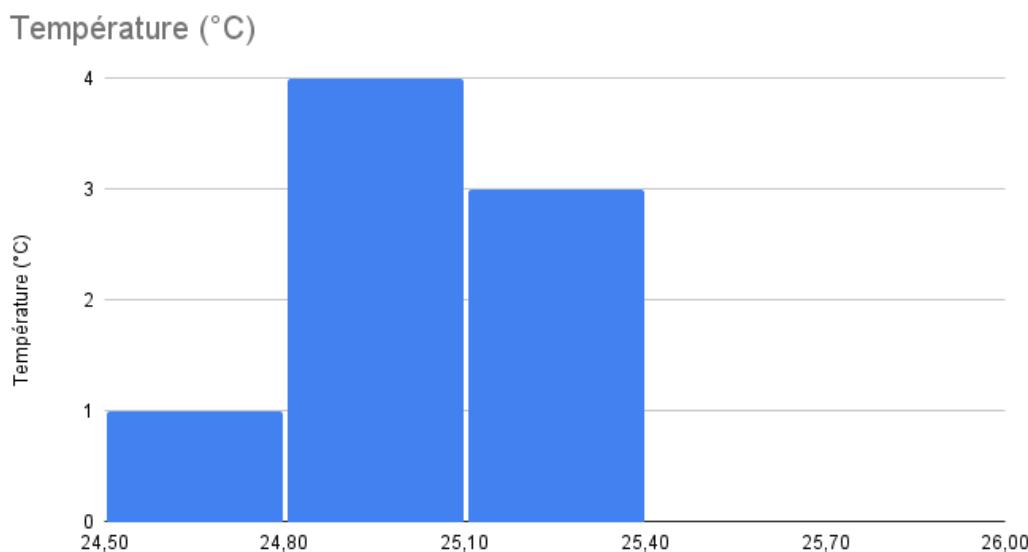
**Étape 3 :** Tracer une barre pour chaque intervalle, de hauteur = effectif

## Exemple

**Mesures de température de fusion (°C) :**

24,8 | 25,2 | 24,9 | 25,1 | 25,3 | 24,7 | 25,0 | 25,2 | 24,8 | 25,0

**Histogramme :**



## Interprétation

Observation	Signification
<b>Distribution symétrique</b> autour de $\bar{x}$	Mesures bien réparties, pas de biais
<b>Distribution décalée</b> (asymétrique)	Possible biais systématique (décalage de l'appareil)

Observation	Signification
<b>Valeur isolée</b> (loin du groupe)	Valeur aberrante → à vérifier ou exclure
<b>Plusieurs pics</b> (distribution bimodale)	Deux populations distinctes (ex. : 2 lots mélangés)

## Application en cosmétique : contrôle de répétabilité

Étape du contrôle	Outil statistique	Objectif
<b>Mesurer plusieurs fois</b>	Protocole normalisé	Obtenir une série de valeurs
<b>Calculer <math>\bar{x}</math> et <math>\sigma</math></b>	Statistiques descriptives	Évaluer la tendance centrale et la dispersion
<b>Tracer l'histogramme</b>	Visualisation	Déetecter valeurs aberrantes, biais
<b>Comparer <math>\sigma</math> à <math>\bar{x}</math></b>	Ratio $\sigma/\bar{x}$	Juger de la répétabilité
<b>Décision</b>	Norme interne	Valider / Rejeter / Refaire

**Exemple :** Contrôle de la température de fusion d'une cire

- $n = 10$  mesures
- $\bar{x} = 62,3 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\sigma = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\sigma/\bar{x} = 0,4/62,3 = 0,6\%$  → Excellente répétabilité 

## 📌 À retenir pour l'E2

## Définitions essentielles

Terme	Définition
<b>État physique</b>	Solide, liquide ou gaz
<b>Changement d'état</b>	Passage réversible d'un état à un autre
<b>Diagramme d'état</b>	Graphique représentant l'état en fonction de (P, T)
<b>Conduction</b>	Transfert thermique par contact direct

Terme	Définition
<b>Convection</b>	Transfert thermique par mouvement de fluide
<b>Rayonnement</b>	Transfert thermique par ondes EM
<b>Écart-type (<math>\sigma</math>)</b>	Mesure de la dispersion des valeurs autour de la moyenne
<b>Histogramme</b>	Graphique en barres montrant la répartition des mesures

## Formules à maîtriser

Formule	Utilisation
$\sigma = \sqrt{[(1/n) \sum(x_i - \bar{x})^2]}$	Calculer l'écart-type
$\sigma/\bar{x} < 5\%$	Critère de bonne répétabilité

## Règles pratiques

Situation	Action
Lecture diagramme d'état	Repérer P et T → identifier la zone (S, L, G)
Choix mode de chauffage	Actif fragile → bain-marie (convection douce)
Mesure de répétabilité	Mesurer n fois → calculer $\bar{x}$ et $\sigma$ → comparer $\sigma/\bar{x}$ à 5%
Interprétation histogramme	Distribution symétrique + pas de valeur aberrante = fiable

## Vocabulaire à maîtriser

- **Diagramme d'état – Changement d'état – Fusion, solidification, vaporisation, liquéfaction**
- **Pression atmosphérique (1 bar)**
- **Conduction, convection, rayonnement**
- **Transfert thermique – Fluide – Onde électromagnétique**
- **Écart-type ( $\sigma$ ) – Dispersion – Répétabilité**
- **Histogramme – Intervalle (classe) – Effectif – Valeur aberrante**

## Lien avec la suite de la progression

Séance	Réinvestissement
<b>S08</b>	Variabilité (moyenne, étendue) → approfondie ici ( $\sigma$ , histogramme)
<b>S02</b>	Solubilité → influence de T (lien avec diagramme d'état)
<b>S17</b>	Représentations organiques → lire une formule de cire, d'huile
<b>S22</b>	Évaluation E2 → exploitation de données statistiques ( $\sigma$ , histogramme)
<b>S26</b>	Transformations chimiques → influence de T sur la cinétique

## Fiche méthode associée

 **Fiche méthode 01 – Justifier une réponse scientifique (O.A.C.J.)**