

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

1 Les états de la matière

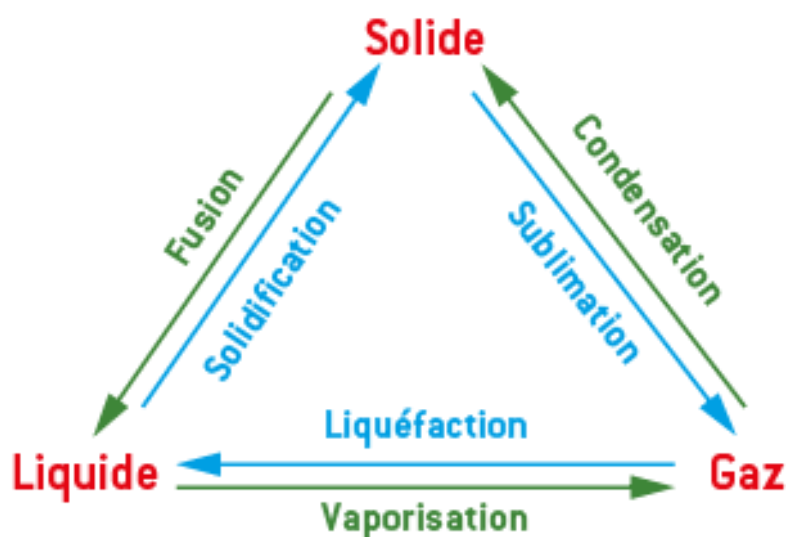
Définition

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

État	Description microscopique	Exemple cosmétique
Solide	Particules organisées, peu mobiles	Cire, beurre végétal à 20 °C
Liquide	Particules mobiles, volume défini	Huile, eau, gel
Gaz	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
Solidification	Liquide → Solide	Cire liquide refroidit dans un stick
Vaporisation	Liquide → Gaz	Eau d'un spray s'évapore sur la peau
Liquéfaction	Gaz → Liquide	Vapeur d'eau condense sur un miroir froid
Sublimation	Solide → Gaz	Neige carbonique (CO ₂ solide) → gaz
Condensation	Gaz → Solide	Givre (vapeur → glace)

📌 À RETENIR :

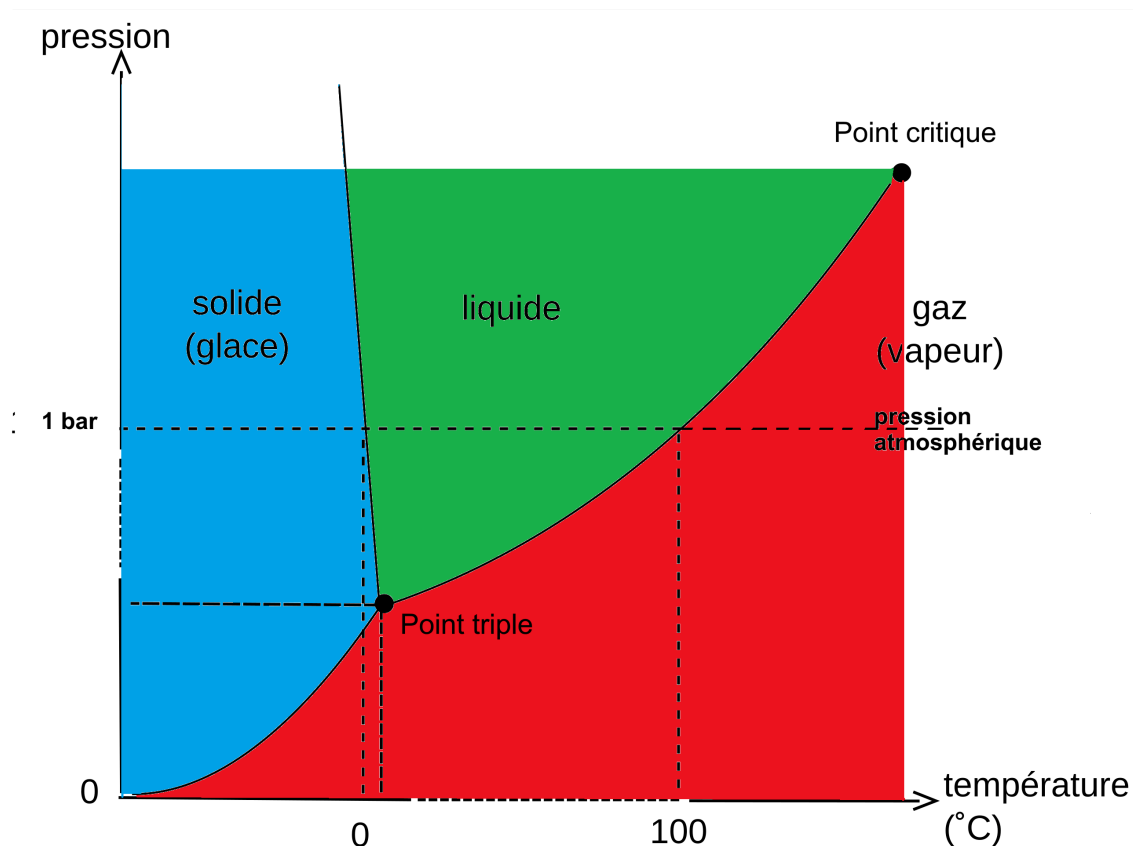
- Les changements d'état sont RÉVERSIBLES
- Ils dépendent de la TEMPÉRATURE et de la PRESSION
- À pression constante, chaque substance a des températures caractéristiques de fusion et d'ébullition

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

- $T < 0\text{ °C}$ → **glace** (solide)
- $0\text{ °C} < T < 100\text{ °C}$ → **eau liquide**
- $T > 100\text{ °C}$ → **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 (→ 120 °C à 2 bar)

Application en cosmétique

Situation	Lien avec le diagramme d'état
Formulation de stick	Chauffer cire/beurre pour fusion (liquide) → couler dans moule → refroidir (solidification)
Stérilisation autoclave	Augmenter P pour augmenter T d'ébullition → stériliser à 120 °C
Conservation réfrigérée	Abaisser T pour éviter fusion (ex. : beurre de cacao reste solide)
Conditionnement aérosol	Gaz propulseur liquéfié sous pression dans la bombe → 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
Conduction	Oui (contact direct)	Cire sur plaque chauffante
Convection	Oui (fluide en mouvement)	Bain-marie, étuve ventilée
Rayonnement	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
Fondre un actif fragile (vitamines, peptides)	Bain-marie (convection douce)	Chauffage progressif, homogène, sans surchauffe

Objectif	Mode recommandé	Justification
Sécher rapidement	Étuve ventilée (convection forcée)	Renouvellement constant de l'air chaud
Chauffer en surface (peaux épaisses, modelage)	Lampe IR (rayonnement)	Pénétration en profondeur sans contact
Stériliser	Autoclave (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 (σ)

Définition

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

Formule

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

Symbole	Signification
σ	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 : σ

💡 La plupart des calculatrices scientifiques ont un mode "STAT" qui calcule automatiquement σ .

Interprétation

σ / \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 (σ) mesure la DISPERSION autour de \bar{x}
- Plus σ est petit, plus les mesures sont REGROUPÉES
- σ petit = bonne répétabilité = méthode fiable
- σ 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)

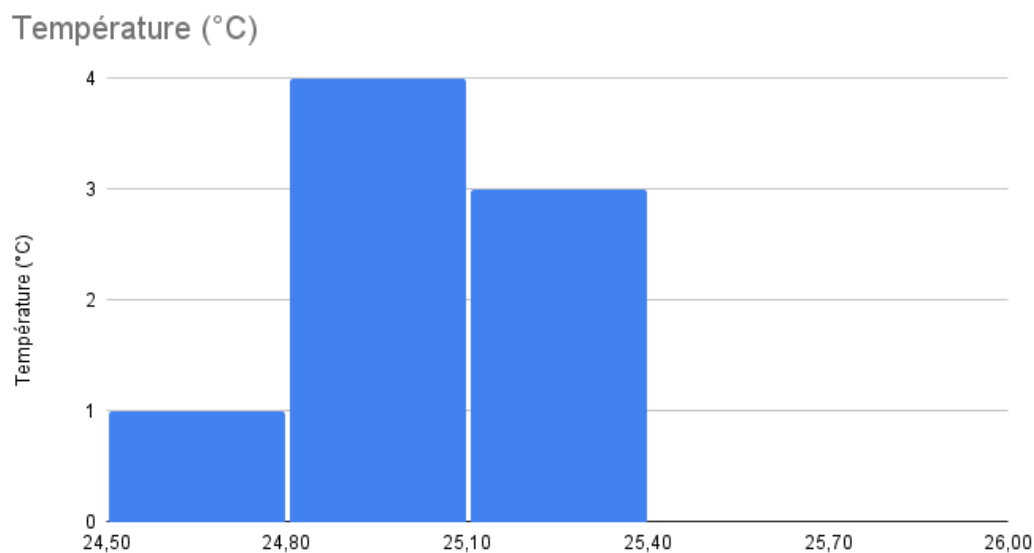
Étape 3 : Tracer une barre pour chaque intervalle, de hauteur = effectif

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
Distribution symétrique autour de \bar{x}	Mesures bien réparties, pas de biais
Distribution décalée (asymétrique)	Possible biais systématique (décalage de l'appareil)

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

Application en cosmétique : contrôle de répétabilité

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

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

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

À retenir pour l'E2

Définitions essentielles

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

Terme	Définition
Convection	Transfert thermique par mouvement de fluide
Rayonnement	Transfert thermique par ondes EM
Écart-type (σ)	Mesure de la dispersion des valeurs autour de la moyenne
Histogramme	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 σ → comparer σ/\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 (σ) – Dispersion – Répétabilité**
- **Histogramme – Intervalle (classe) – Effectif – Valeur aberrante**

Lien avec la suite de la progression

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

Fiche méthode associée

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