

# Synthèse organique

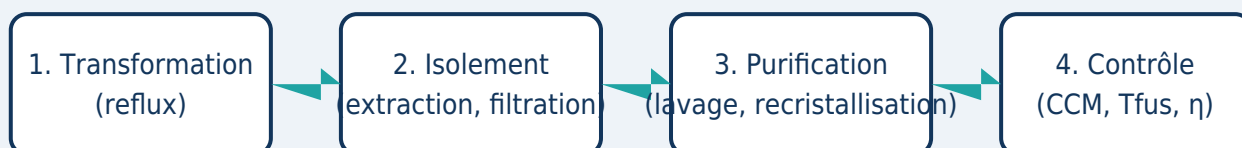
## Cours de sciences physiques - niveau 1re

*L'arôme de banane d'un yaourt, l'aspirine d'une boîte de comprimés, le paracétamol de la pharmacie : ces molécules sont fabriquées par une **synthèse organique**. Pour passer du flacon de réactifs à un produit pur, le chimiste suit une démarche en quatre temps, puis mesure l'efficacité de son travail grâce au **rendement**.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

## Les quatre étapes d'une synthèse organique

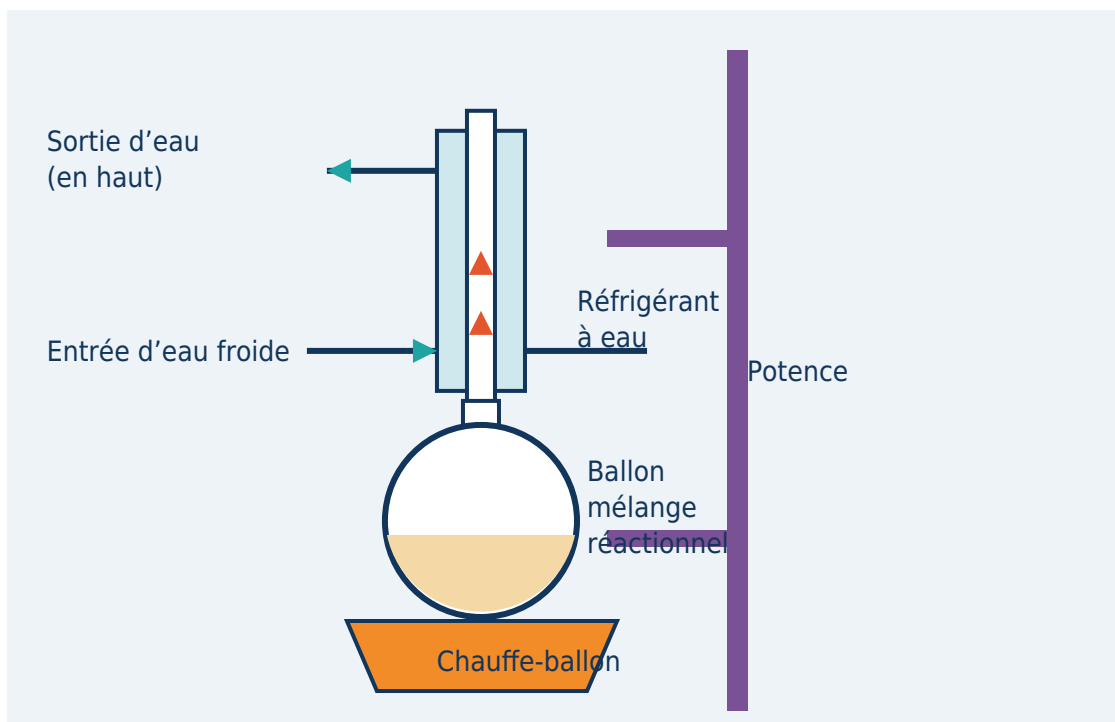
Une **synthèse organique** consiste à fabriquer une espèce chimique (le produit) à partir d'autres espèces (les réactifs) par une transformation chimique. Elle suit presque toujours le même fil conducteur : on réalise la transformation, on isole le produit du mélange, on le purifie, puis on l'identifie et on calcule le rendement.



Les quatre grandes étapes d'une synthèse organique.

## Réaliser la transformation : le chauffage à reflux

Beaucoup de transformations organiques sont lentes à température ambiante. Trois **facteurs cinétiques** permettent de les accélérer : la **température**, la **concentration** des réactifs et la présence d'un **catalyseur**. Mais chauffer un mélange de liquides volatils fait bouillir et perdre de la matière. Le **chauffage à reflux** règle ce problème : les vapeurs montent dans un réfrigérant à eau, se condensent et retombent dans le ballon.



Chauffage à reflux : l'eau entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut ; les vapeurs condensées retombent dans le ballon.

#### DÉFINITION

Un **catalyseur** est une espèce chimique qui accélère une transformation sans figurer dans son équation. Il ne modifie ni l'état final atteint ni la quantité maximale de produit.

Quelques précautions : le montage n'est jamais fermé (il communique avec l'air par le haut du réfrigérant), l'eau circule **à contre-courant** (entrée en bas, sortie en haut) pour que le réfrigérant reste plein d'eau, et l'on ajoute de la pierre ponce ou un barreau aimanté pour régulariser l'ébullition.

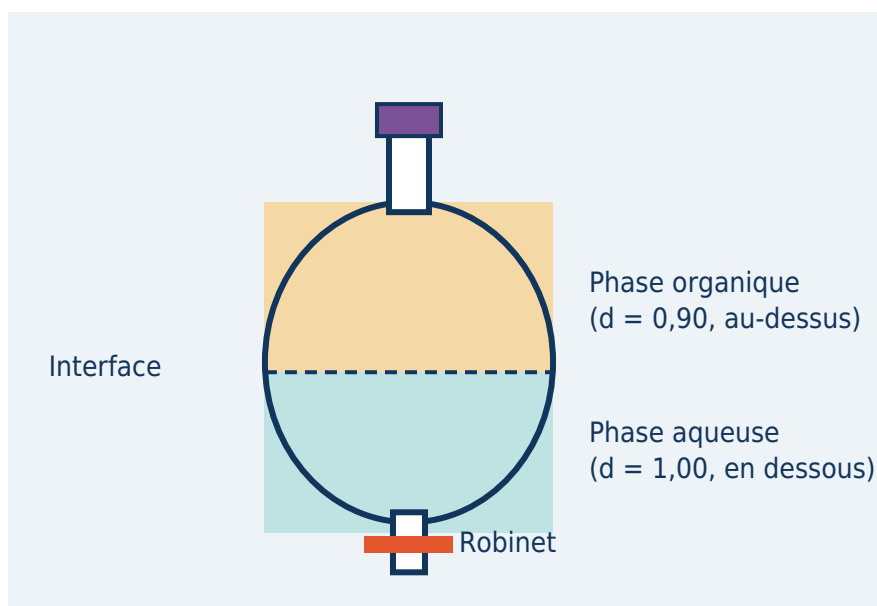
## Isoler et purifier le produit

À la fin de la transformation, le produit est mélangé aux réactifs restants, au solvant et aux sous-produits. On le sépare par des techniques qui exploitent des propriétés physiques différentes.

- **Extraction liquide-liquide** : on agite le mélange avec un solvant non miscible à l'eau dans lequel le produit est très soluble ; on sépare les deux phases dans une ampoule à décanter. La phase la plus dense est en bas.
- **Lavage** : on agite la phase organique avec une solution aqueuse (eau, solution d'hydrogénocarbonate de sodium) pour éliminer les espèces ioniques ou acides.
- **Séchage** : on ajoute un solide anhydre (sulfate de magnésium) qui retient les traces d'eau, puis on filtre.
- **Filtration sur Büchner** : on essore un solide cristallisé sous pression réduite.
- **Recristallisation** : on dissout le solide impur dans un minimum de solvant chaud ; au refroidissement le produit cristallise et les impuretés, peu abondantes, restent

dissoutes.

- **Distillation** : on sépare des liquides de températures d'ébullition différentes.



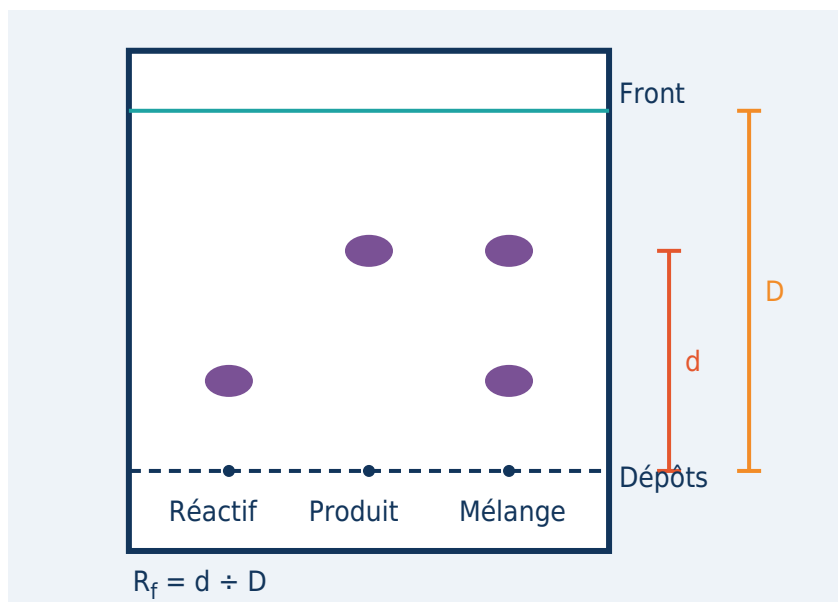
Dans l'ampoule à décanter, la phase la moins dense surnage.

## Identifier le produit et contrôler sa pureté

Un produit obtenu n'est pas forcément le bon, ni forcément pur. On le caractérise par des mesures comparées à des valeurs de référence.

| Technique        | Grandeur mesurée                             | Critère de pureté                              |
|------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Banc Kofler      | Température de fusion ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Valeur égale à la valeur tabulée, fusion nette |
| Réfractomètre    | Indice de réfraction (liquide)               | Égal à la valeur tabulée                       |
| CCM              | Rapport frontal $R_f$                        | Une seule tache, identique à la référence      |
| Spectroscopie IR | Bandes d'absorption ( $\text{cm}^{-1}$ )     | Bandes des liaisons attendues                  |

La **chromatographie sur couche mince** (CCM) sépare les espèces d'un mélange : un éluant monte par capillarité sur une plaque et entraîne chaque espèce plus ou moins loin. Les impuretés fondent un solide sur une plage plus large et à une température plus basse que le corps pur.



Plaque de CCM : le mélange donne deux taches, dont l'une coïncide avec le produit de référence.

## Le rendement d'une synthèse

Les quantités de réactifs sont connues par leur masse ou leur volume. On les convertit en **quantité de matière** pour savoir quel réactif est **limitant**, c'est-à-dire celui qui disparaît le premier.

### FORMULES À RETENIR

$$n = m \div M \text{ (n en mol, m en g, M en g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

$$n = \rho \times V \div M \text{ (}\rho \text{ en g} \cdot \text{mL}^{-1}\text{, V en mL)}$$

$$\text{Rendement : } \eta = n_{\text{exp}} \div n_{\text{max}} = m_{\text{exp}} \div m_{\text{max}} \text{ (sans unité, souvent exprimé en \%)}$$

La quantité maximale de produit  $n_{\text{max}}$  est celle qu'on obtiendrait si la transformation était totale ; elle se déduit de l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  et des nombres stœchiométriques de l'équation. Elle est fixée par le réactif limitant, jamais par celui qui est en excès.

### EXEMPLE RÉSOLU : L'ASPIRINE

$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3 + \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4 + \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ . On part de 2,00 g d'acide salicylique ( $M = 138,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) et de 5,0 mL d'anhydride éthanoïque ( $M = 102,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\rho = 1,08 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ).  
 $n(\text{salicylique}) = 2,00 \div 138,1 = 1,45 \times 10^{-2} \text{ mol}$  ;  $n(\text{anhydride}) = 1,08 \times 5,0 \div 102,1 = 5,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$ . Les coefficients valent 1 : l'acide salicylique est limitant, donc  $n_{\text{max}} = 1,45 \times 10^{-2} \text{ mol}$  et  $m_{\text{max}} = 1,45 \times 10^{-2} \times 180,2 = 2,61 \text{ g}$  d'aspirine. On pèse 1,85 g :  $\eta = 1,85 \div 2,61 = 0,709$ , soit **71 %**.

### ERREUR FRÉQUENTE

Le rendement se calcule avec le **produit** et le **réactif limitant**. Un rendement supérieur à 100 % est impossible : il signale un produit humide ou impur, ou une erreur

## Pourquoi le rendement est-il inférieur à 100 %

---

Plusieurs causes se cumulent : une transformation **limitée** (elle s'arrête avant la disparition du réactif limitant, comme l'estérification), des **réactions secondaires** qui forment d'autres espèces, et surtout des **pertes** à chaque manipulation (transferts, filtration, recristallisation). Pour améliorer le rendement, on peut utiliser l'un des réactifs en **excès**, éliminer un produit au fur et à mesure, allonger la durée de chauffage ou choisir un catalyseur adapté. Lorsqu'une synthèse comprend plusieurs étapes, les rendements se **multiplient** : deux étapes à 80 % donnent  $0,80 \times 0,80 = 64 \%$ .

## L'essentiel à retenir

---

- Une synthèse comprend la transformation, l'isolement, la purification et le contrôle du produit.
- Le chauffage à reflux accélère la réaction sans perte de matière ; l'eau circule du bas vers le haut du réfrigérant.
- Extraction, lavage, séchage, filtration, recristallisation et distillation séparent et purifient.
- Température de fusion, indice de réfraction et CCM ( $R_f = d \div D$ ) identifient le produit et testent sa pureté.
- $\eta = n_{\text{exp}} \div n_{\text{max}}$ , calculé avec le réactif limitant ;  $\eta \leq 100 \%$ .