

Première Spécialité Physique-Chimie	Thème : Constitution et transformations de la matière	M GINEYS M / M.KUNST-MEDICA	
<u>Chapitre 12 : Cohésion de la matière</u>		Cours livre p 104 à 107	

Objectifs et trame du chapitre

I. Les solides ioniques et leur cohésion

II. Les solides moléculaires et leur cohésion

Activité documentaire n°12.1 : Fusion du saccharose en cuisine

Capacités visées :

- Expliquer la cohésion au sein de composés solides ioniques et moléculaires par l'analyse des interactions entre entités.

Exercices d'application à faire après l'activité : 4-5 p 112

III. Dissolution d'un solide ionique

Activité documentaire n°12.2 : Le sel peut-il être récolté sous la pluie ?

Capacités visées :

- Expliquer la capacité de l'eau à dissocier une espèce ionique et à solvater les ions.
- Modéliser, au niveau macroscopique, la dissolution d'un composé ionique dans l'eau par une équation de réaction, en utilisant les notations (s) et (aq).
- Calculer la concentration des ions dans la solution obtenue

Exercices d'application à faire après l'activité : 6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 p 113

IV. Miscibilité et solubilité d'une espèce chimique

Activité expérimentale n°12.3 : Dissolution et extraction d'une espèce chimique.

Capacités visées :

- Expliquer ou prévoir la solubilité d'une espèce chimique dans un solvant par l'analyse des interactions entre les entités.
- Comparer la solubilité d'une espèce solide dans différents solvants (purs ou en mélanges).
- Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide à partir des valeurs de solubilités de l'espèce chimique dans les deux solvants.
- Choisir un solvant et mettre en œuvre un protocole d'extraction liquide-liquide d'un soluté moléculaire.

Exercices d'application à faire après l'activité : 16-17-18-19 p 114

V. Les espèces amphiphiles comme le savon

Activité expérimentale n°12.4 : Les propriétés des savons

Capacités visées :

- Expliquer le caractère amphiphile et les propriétés lavantes d'un savon à partir de la formule semi-développée de ses entités. Citer les applications usuelles de tensioactifs.

Exercices d'application à faire après l'activité : 22 p 115

Bilan des activités :

Vidéo : Extraction liquide-liquide

<https://youtu.be/LI4sPwLTQbU>

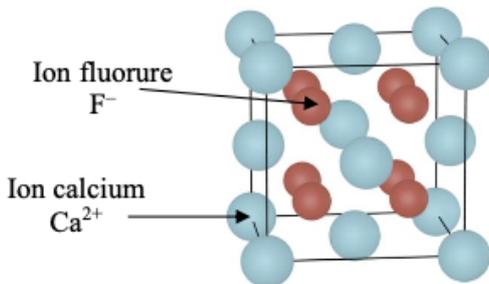


Vidéo : cours complet sur la cohésion de la matière

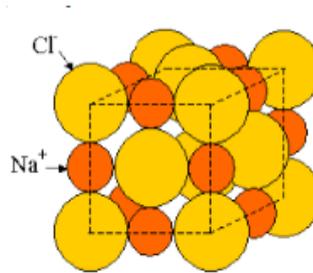
<https://www.youtube.com/watch?v=bHdU1fbaaLM>



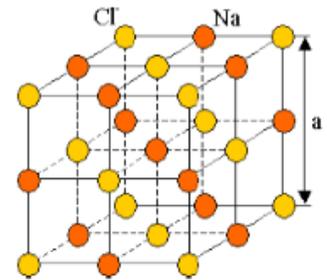
I. Les solides ioniques et leur cohésion



Fluorure de calcium (CaF₂)



Chlorure de sodium NaCl



Un solide ionique est constitué de cations et d'anions, régulièrement disposés dans l'espace. Un solide ionique est électriquement neutre.

Dans le cristal de chlorure de sodium, on a les distances suivantes sur une face du cube :

- $d_1 = 282$ pm : distance entre un ion chlorure et un ion sodium
- $d_2 = 399$ pm : distance entre deux ions chlorure (ou deux ions sodium)

Rappel : 1 pm (picomètre) = 10^{-12} m

L'intensité de la **force gravitationnelle** entre deux objets de masses m_1 et m_2 et séparés par la distance d vaut :

$$F_g = G \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

L'intensité de la **force électrostatique** entre deux objets chargés de charges q_1 et q_2 et séparés par la distance d vaut :

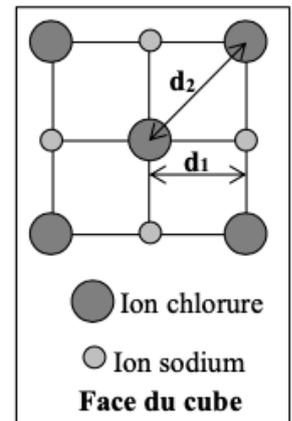
$$F_e = k \times \frac{|q_1 \times q_2|}{d^2}$$

Données : $k = 8,99 \times 10^9$ N.m².C⁻²
 $m(\text{Cl}^-) = 5,89 \times 10^{-26}$ kg

$G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.m².kg⁻²
 $m(\text{Na}^+) = 3,82 \times 10^{-26}$ kg

La charge d'un ion chlorure $q(\text{Cl}^-) = -e$, celle d'un ion sodium vaut $q(\text{Na}^+) = +e$.

$e = 1,60 \times 10^{-19}$ C



1) Calculer l'intensité de la force gravitationnelle F_g s'exerçant entre un ion chlorure et un ion sodium.

$$F_g = G \times \frac{m(\text{Cl}^-) \times m(\text{Na}^+)}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,89 \times 10^{-26} \times 3,82 \times 10^{-26}}{(282 \times 10^{-12})^2} = \underline{1,89 \times 10^{-42} \text{ N.}}$$

2) Calculer l'intensité de la force électrostatique F_{e1} s'exerçant entre un ion chlorure et un ion sodium. Est-ce une force attractive ou répulsive ?

$$F_{e1} = k \times \frac{|q(\text{Cl}^-) \times q(\text{Na}^+)|}{d^2} = 8,99 \times 10^9 \times \frac{|-1,60 \times 10^{-19} \times 1,60 \times 10^{-19}|}{(282 \times 10^{-12})^2} = \underline{2,89 \times 10^{-9} \text{ N.}}$$

Il s'agit d'une **force attractive** car les ions chlorure et sodium ont des charges opposées.

3) Calculer l'intensité de la force électrostatique F_{e2} s'exerçant entre deux ions chlorure. Est-ce une force attractive ou répulsive ?

$$F_{e2} = k \times \frac{|q(\text{Cl}^-) \times q(\text{Cl}^-)|}{d^2} = 8,99 \times 10^9 \times \frac{|-1,60 \times 10^{-19} \times -1,60 \times 10^{-19}|}{(399 \times 10^{-12})^2} = \underline{1,45 \times 10^{-9} \text{ N.}}$$

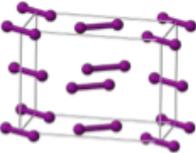
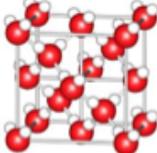
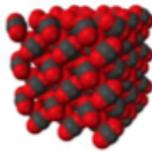
Il s'agit d'une **force répulsive** car les ions chlorure ont une même charge négative.

Dans un solide ionique, l'interaction gravitationnelle existe, mais est négligeable par rapport à l'interaction électrostatique entre les ions chargés.

La répulsion électrostatique entre deux ions de même charge est plus faible que l'attraction électrostatique entre deux ions de charges opposées.

La cohésion des solides ioniques est assurée par interaction électrostatique entre cations et anions.

II. Les solides moléculaires et leur cohésion

diiode $\text{I}_2(\text{s})$	glace $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$	glace carbonique $\text{CO}_2(\text{s})$
		

Un solide moléculaire est constitué de molécules régulièrement disposées dans l'espace.

La cohésion des solides (et des liquides) moléculaires est assurée par deux types d'interactions intermoléculaires (entre molécules) :

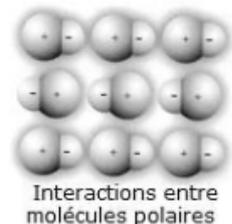
- les **interactions de Van der Waals** (pour tous les solides moléculaires),
- les **interactions par pont hydrogène** (pour quelques solides seulement).

1) Les interactions de Van der Waals

Molécules polaires

Les molécules polaires, qui ne portent pourtant pas de charges électriques, se présentent sous la forme de dipôles (« deux » pôles : le centre des charges positives G^+ et le centre des charges négatives G^-). Ces dipôles sont des **dipôles permanents**.

Les molécules sont orientées de manière que le pôle positif d'une molécule soit toujours voisin du pôle négatif d'une autre molécule.



Molécules apolaires

Dans les molécules apolaires, le centre des charges positives est confondu avec celui des charges négatives. Ces molécules ne sont pas des dipôles permanents.

Cependant, lorsque des molécules apolaires s'approchent les unes des autres, leur nuage électronique se déforme et les molécules deviennent polaires (même si elles ne l'étaient pas au départ). Il y a alors apparition d'un **dipôle instantané**. Cependant, l'interaction entre ces dipôles est plus faible qu'entre dipôles permanents.

La cohésion des solides moléculaires est assurée par interaction de Van der Waals. Ce sont des interactions électrostatiques attractives entre molécules polaires ou apolaires.

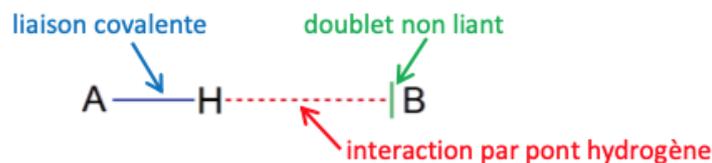
L'énergie mise en jeu dans ces interactions est **très inférieure** à celle rencontrée dans les cristaux ioniques. La cohésion des solides moléculaires est **beaucoup moins forte** que celle des solides ioniques. Leur température de changement d'état sera donc inférieure à celle des solides ioniques.

Exemples : $T_{\text{fusion}}(\text{NaCl}) = 801^\circ\text{C}$ $T_{\text{fusion}}(\text{I}_2) = 114^\circ\text{C}$

2) Les interactions par pont hydrogène

Dans certains solides moléculaires, des interactions attractives supplémentaires **s'ajoutent** aux interactions de Van der Waals : ce sont les **interactions par pont hydrogène**. Cela assure une plus grande cohésion du solide car elles sont dix fois plus solides que les interactions de Van der Waals.

Les interactions par pont hydrogène sont des interactions entre molécules de nature électrostatique. Elle se forme lorsqu'un atome d'hydrogène H (d'où son nom !) lié à un atome A très électronégatif (O, N ou F) par liaison covalente, interagit avec un atome B également très électronégatif et porteur de doublet non liant.

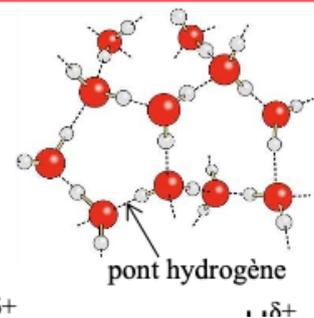


Les trois atomes participant à une interaction par pont hydrogène sont généralement alignés. On représente cette interaction par des pointillés entre l'atome et le doublet non liant impliqués.

Intensité relative des interactions :

Interactions de Van der Waals < Interactions par pont hydrogène < Liaison covalente

Remarque : toute molécule qui possède le groupement OH présente des interactions par pont hydrogène (eau, éthanol).



III. Dissolution d'un solide ionique

1) Le rôle du solvant

La dissolution d'un solide ionique se déroule en trois étapes :

- **La dissociation :**

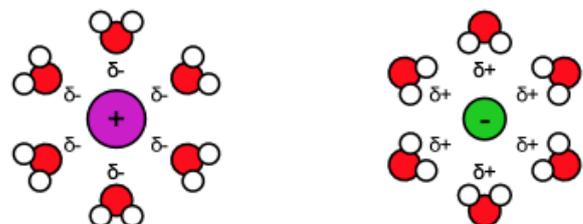
Quand le solide ionique est mis dans un solvant polaire comme l'eau, il y a apparition de forces d'attraction électrostatique entre les molécules d'eau et les ions du solide ionique.

Ces forces sont plus fortes que celles qui assurent la cohésion du solide ionique, et les ions qui composent le solide, attirés par les molécules d'eau, commencent à se séparer.

- **La solvatation :**

Toujours sous l'effet de ces forces d'attraction électrostatique, les molécules d'eau entourent les ions dissociés. Elles s'orientent afin de présenter le pôle de signe opposé à la charge de l'ion.

On dit que les ions sont solvatés (ou hydratés si le solvant est l'eau).



- **La dispersion :**

Sous l'effet de l'agitation thermique, les ions solvatés se dispersent progressivement dans la solution et ne sont plus en interaction entre eux.

Remarque : Un solide ionique ne se dissout pas dans un solvant apolaire puisqu'il n'y a pas d'interaction électrostatique possible.

2) Equation de la réaction de dissolution dans l'eau

L'équation de dissolution d'un solide ionique s'écrit :



aq signifie « aqueux ». On écrit *aq* en indice de l'ion hydraté pour indiquer qu'il est entouré de molécules d'eau.

Au cours d'une dissolution, il y a conservation de la matière et des charges électriques. Une solution ionique est donc électriquement neutre : la quantité de charges positives est égale à la quantité de charges négatives.

Exemples :



3) Concentration d'un ion en solution

✚ Concentration en soluté

La concentration en soluté est notée $c_{\text{soluté}}$. Elle est égale au rapport de la quantité de matière de soluté $n_{\text{soluté}}$ mise en solution par le volume V de solution :

$$c_{\text{soluté}} = \frac{n_{\text{soluté}}}{V}$$

$n_{\text{soluté}}$ en mol
 V en litre
 $c_{\text{soluté}}$ en mole par litre (mol.L^{-1})

✚ Concentration des ions en solution

La concentration d'un ion de formule X en solution est notée $[X]$. Elle est égale au rapport de la quantité n_X présente dans la solution par le volume V de solution :

$$[X] = \frac{n_X}{V}$$

n_X : quantité de matière d'ions X , en mol
 V en litre
 $[X]$ en mole par litre (mol.L^{-1})

Les concentrations des ions en solution peuvent être différentes de celle du soluté. En effet, il faut tenir compte des coefficients stœchiométriques intervenant dans l'équation de dissolution.

Exemple : On dissout 0,65 g de chlorure de fer III pour préparer 100 mL de solution.



✚ Calcul de la quantité de matière en soluté initiale $n_{\text{soluté}}$ mise en solution :

$$n_{\text{soluté}} = \frac{m_{\text{soluté}}}{M_{\text{soluté}}} = \frac{0,65}{162,3} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$



Equation de la transformation		$\text{FeCl}_{3(s)} \rightarrow \text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 3 \text{Cl}^{-}_{(aq)}$		
Etat du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)		
Etat initial	$x = 0$	$4,0 \times 10^{-3}$	0	0
En cours	x	$4,0 \times 10^{-3} - x$	x	$3x$
Etat final	x_{max}	$4,0 \times 10^{-3} - x_{\text{max}} = 0$	x_{max}	$3x_{\text{max}}$

A l'état final :

* Tout le soluté est dissous, sa quantité de matière est donc nulle : $n_{\text{FeCl}_3} = 0$. On a donc : $x_{\text{max}} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$

* On obtient les quantités de matière des ions en solution :

$$n_{\text{Fe}^{3+}} = x_{\text{max}} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad n_{\text{Cl}^{-}} = 3 x_{\text{max}} = 3 \times 4,0 \times 10^{-3} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

On note $[\text{Fe}^{3+}]$ et $[\text{Cl}^{-}]$ les concentrations des ions Fe^{3+} et des ions Cl^{-} en solution.

$$[\text{Fe}^{3+}] = \frac{n_{\text{Fe}^{3+}}}{V} = \frac{4,0 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}. \quad \text{On constate que } [\text{Fe}^{3+}] = c_{\text{soluté}}$$

$$[\text{Cl}^{-}] = \frac{n_{\text{Cl}^{-}}}{V} = \frac{1,2 \times 10^{-2}}{100 \times 10^{-3}} = 1,2 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}. \quad \text{On constate que } [\text{Cl}^{-}] = 3 c_{\text{soluté}}$$

La concentration d'un ion [X] est égale à la concentration en soluté $c_{\text{soluté}}$ multipliée par le coefficient stœchiométrique de l'ion X dans l'équation de dissolution.

IV. Miscibilité et solubilité d'une espèce chimique

1) Miscibilité

Deux liquides sont **miscibles** s'ils forment un mélange homogène.

Deux liquides sont **non miscibles** s'ils forment un mélange hétérogène.

Remarque : Dans un mélange hétérogène, l'eau et toutes les espèces solubles dans l'eau constituent la phase aqueuse. L'autre phase est la phase organique.



2) Prévision de la solubilité d'une espèce chimique

Une solide n'est soluble dans un solvant que si ses entités (ions ou molécules) peuvent s'entourer de molécules de solvant. Il doit donc exister des interactions entre les molécules du solvant et les entités du soluté.

Un soluté est d'autant plus soluble dans un solvant que sa structure est proche de celle du solvant (« qui se ressemble s'assemble »).

- **Un solide ionique est davantage soluble dans un solvant polaire.**

Exemples : le sel ou le sulfate de cuivre dans l'eau.

- **Les solides moléculaires polaires sont davantage solubles dans les solvants polaires.**

Cette solubilité s'explique par des interactions de Van der Waals ou par pont hydrogène qui s'établissent entre les molécules de soluté et les molécules de solvant.

Exemple : La saccharose (polaire) dans l'eau (polaire).

- **Les solides moléculaires apolaires sont davantage solubles dans les solvants apolaires.**

Exemple : La molécule de diiode I_2 , peu soluble dans l'eau, est très soluble dans le cyclohexane C_6H_{12} qui est un solvant apolaire.

3) Principe de l'extraction liquide-liquide

Une **extraction liquide-liquide** consiste à faire passer une espèce chimique d'une phase de départ liquide vers un solvant extracteur, liquide également et non miscible avec la phase de départ.

Le choix du solvant extracteur doit répondre à deux critères :

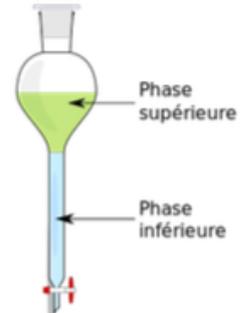
- l'espèce à extraire doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans la phase de départ.
- le solvant extracteur et la phase de départ ne doivent pas être miscibles.

Le choix se portera également sur le solvant le moins toxique.

Exemple : extraction du diiode présent dans l'eau par le cyclohexane. Le diiode est bien plus soluble dans le cyclohexane que dans l'eau. De plus, le cyclohexane n'est pas miscible avec l'eau.

L'extraction est réalisée dans une **ampoule à décanter**.

Les deux phases sont disposées l'une sur l'autre en fonction de leur densité. L'ampoule à décanter permet de séparer les deux phases facilement après extraction.



V. Les espèces amphiphiles comme le savon

Lipo- : préfixe ayant un rapport avec la graisse, les lipides.

Hydro- : préfixe ayant un rapport avec l'eau.

-Phile : suffixe qui signifie « qui aime »

Amphi- : préfixe signifiant « des deux côtés ».

-Phobe : suffixe qui signifie « qui craint »

Certaines espèces ont des entités constituées de deux parties avec des propriétés distinctes :

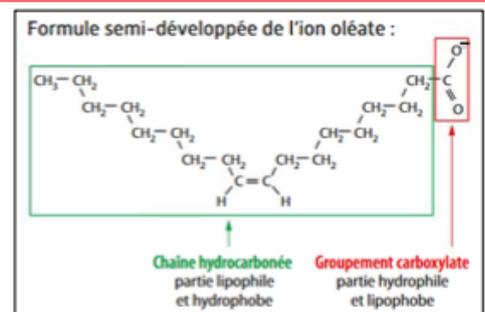
- Une partie **polaire** et donc **hydrophile** (soluble dans l'eau). Cette partie est aussi **lipophobe**.
- Une partie **apolaire** et donc **lipophile** (soluble dans les graisses). Cette partie est aussi **hydrophobe**.

Ces espèces ont un caractère **amphiphile**. Ces molécules sont appelées des **tensioactifs**.

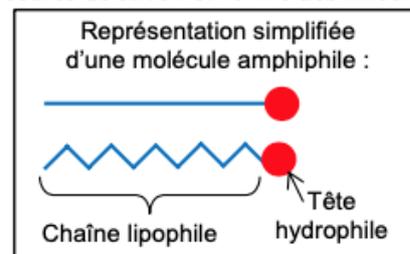
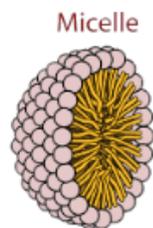
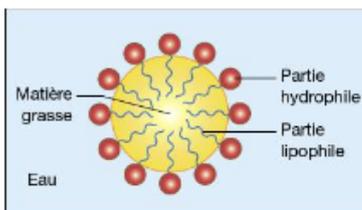
Le savon est un exemple de composé amphiphile.

Le principal constituant d'un savon est un ion appelé ion carboxylate, comme par exemple l'ion oléate dans le savon de Marseille. L'ion carboxylate possède :

- Une longue chaîne carbonée apolaire et lipophile, les liaisons C - C et C - H étant apolaires. La chaîne carbonée est insoluble dans l'eau.
- Une tête ionique polaire et hydrophile, soluble dans l'eau.



Le savon a de bonnes **propriétés lavantes**. En effet, sa partie lipophile se fixe dans les salissures grasses et sa partie hydrophile reste dans l'eau. La graisse se retrouve entourée de molécules de savon et forme des **micelles** qui sont éliminées au moment du rinçage.



D'autres tensioactifs sont utilisés dans le domaine alimentaire car ils permettent de réaliser des émulsions entre deux liquides non miscibles. Par exemple, l'huile prend la forme de gouttelettes qui s'entourent de tensioactifs et se mélangent à l'eau.

Exemple : la mayonnaise : émulsion d'huile et de vinaigre réalisée grâce à la lécithine de l'œuf qui joue le rôle de tensioactif.

La cohésion d'un solide ionique ou moléculaire

Interactions électrostatiques

Ionique

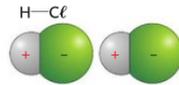


Interaction entre deux corps chargés q_A et q_B de signes opposés.

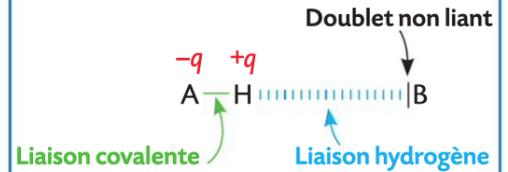
Moléculaire

Interactions de van der Waals
(Pour tous les solides moléculaires)
Interaction attractive entre charges partielles $+q$ et $-q$ de signes opposés.

Exemple : Le chlorure d'hydrogène



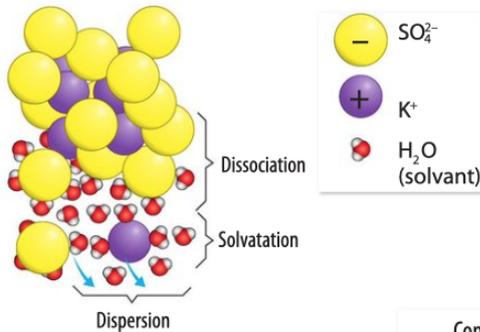
Liaisons (ou ponts) hydrogène (lorsqu'elles existent)



La solubilité d'une espèce chimique

Soluté

Ionique



Conservation :
Éléments chimiques
+ charge électrique

Concentration en quantité de matière des ions en solution

$$[\text{K}^+] = \frac{n(\text{K}^+)}{V_{\text{solution}}} = \frac{2n(\text{K}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{solution}}}$$

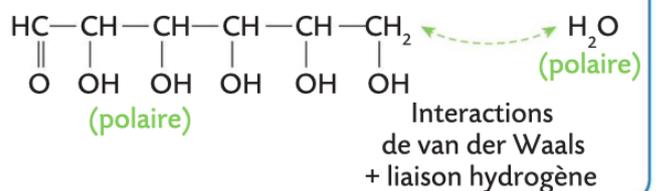
$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{n(\text{SO}_4^{2-})}{V_{\text{solution}}} = \frac{n(\text{K}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{solution}}}$$

Moléculaire

- Le diiode est soluble dans le cyclohexane :



- Le glucose est soluble dans l'eau :



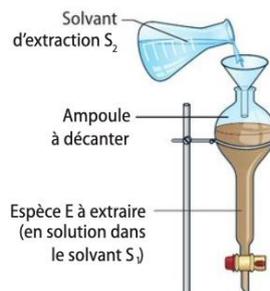
Les savons



L'extraction par solvant d'une espèce en solution

Extraction

- L'espèce à extraire est plus soluble dans S_2 que dans S_1 .
- S_1 et S_2 sont non-miscibles entre eux.
- S_2 présente un danger minimal pour la santé et l'environnement.



Séparation liquide-liquide

