

Sursaturation : l'acétate de sodium et ses applications

Après avoir observé une bouillotte chimique en fonctionnement, j'ai voulu étudier le phénomène chimique qui a lieu dans cet objet du quotidien. En effet, je trouve intéressant de comprendre le procédé de stockage d'énergie thermique dans ce petit objet. J'ai donc choisi d'étudier le phénomène de sursaturation en l'appliquant à l'acétate de sodium.

A travers l'étude de la sursaturation de l'acétate de sodium du milieu homogène, nous analysons les causes de la rupture de l'état d'équilibre métastable afin d'en comprendre les lois qui en découlent. Nous étudions, via la thermodynamique de la réaction, les conséquences thermiques de cette rupture d'équilibre.

Professeur encadrant du candidat :

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

Positionnement thématique (phase 2)

CHIMIE (Chimie Théorique - Générale), CHIMIE (Chimie Inorganique), PHYSIQUE (Physique de la Matière).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)

Sursaturation

Précipitation

Exothermique

Cristallographie

Thermodynamique

Mots-Clés (en anglais)

Supersaturation

Precipitation

Exothermic

Crystallography

Thermodynamics

Bibliographie commentée

La sursaturation un phénomène physico-chimique consistant à dissoudre dans un solvant une quantité de soluté plus importante que la solubilité de celui-ci dans des conditions de pression et température données [1]. La majeure partie du temps, la solubilité augmente avec la température. En refroidissant une solution saturée, on crée une solution sursaturée. En effet, certains composés chimiques ont des propriétés qui leurs permettent de rester en solution alors que ceux-ci devraient y être à l'état solide, on parle alors d'état métastable. Dans cet état, la moindre perturbation provoque une rupture de cet équilibre qui entraîne la précipitation des cristaux dans la phase liquide.

Dans notre étude nous nous intéressons à la sursaturation de l'acétate de sodium de formule CH₃COONa [2]. Cette molécule intervient dans divers secteurs industriel (industrie alimentaire, nettoyage industriel, médecine ...) ce qui rend son accès facile. De plus, il s'agit d'un composé chimique que l'on peut aisément synthétiser en laboratoire [3] [4] afin de procéder à son étude. En effet, le principal réactif nécessaire à sa synthèse est l'acide éthanoïque CH₃COOH qui est très couramment employé que ce soit en laboratoire ou pour un usage domestique. L'acétate de sodium est également très utilisé dans les bouillottes chimiques dont le fonctionnement est basé sur ce phénomène de sursaturation [5].

Lors de la rupture de l'état métastable d'une solution sursaturée d'acétate de sodium, on observe une cristallisation exothermique dans le cas de ce composé chimique. La chaleur dégagée par ce phénomène de cristallisation peut être quantifiée par une étude thermodynamique. En effet, le dégagement de chaleur est étudié grâce à l'enthalpie de réaction, qui peut être déterminée de manière théorique et expérimentale. En réalisant plusieurs solutions de concentrations différentes à l'aide d'un diagramme binaire [6], de façon à obtenir des solutions sursaturées dans des états métastables, l'influence de celle-ci sur l'enthalpie de réaction peut être étudiée.

La température dégagée lors de la cristallisation varie en fonction de la concentration de la solution. En réalisant un abaque de concentration il est possible d'établir une loi expérimentale mettant en évidence le lien entre la température et la concentration.

Problématique retenue

Notre sujet a pour but de répondre aux questions suivantes : Comment caractériser la réaction de cristallisation de l'acétate de sodium et quelles sont ses applications ? Quels sont les phénomènes qui régissent le fonctionnement d'une chaufferette chimique ? Nous nous demanderons aussi pourquoi ces bouillottes sont de petite taille.

Objectifs du TIPE du candidat

1. Caractériser le phénomène de sursaturation appliqué à l'acétate de sodium en étudiant le fonctionnement d'une bouillotte chimique commerciale par une étude thermodynamique de la réaction de cristallisation.
2. Réaliser des solutions sursaturées de manière à comprendre l'influence de la concentration en acétate de sodium sur l'enthalpie de cristallisation.
3. Etudier l'influence de la taille de la bouillotte chimique en comparaison avec une bouillotte traditionnelle.

Objectifs du TIPE du second membre du groupe

1. Synthèse et caractérisation de l'acétate de sodium.

2. Réaliser plusieurs solutions sursaturées afin d'établir un lien entre la température maximale atteinte et la concentration des solutions durant la cristallisation grâce à un suivi thermique.

3. Réaliser un comparatif avec une solution d'acétate de sodium présente dans une bouillotte chimique vendue dans le commerce et déterminer sa concentration de plusieurs façons.

Abstract

Supersaturation is a physicochemical phenomenon which is to dissolve in a solvent a chemical compound more than its solubility. Some chemical compounds can be in a supersaturated solution. It is the case of sodium acetate. Indeed this compound can be dissolved in water more than its solubility to create a metastable state. In this case, a little disturbance can crystallize the solution. This crystallization is exothermic. We can study this phenomenon in order to apply it to chemical heaters with the measure of its standard enthalpy, which is on the order of a dozen pounds Joules.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] SÉBASTIEN TEYCHENÉ : Thèse : Maîtrise du polymorphisme dans les procédés de cristallisation de produits d'intérêts pharmaceutiques : *Décembre 2004*
- [2] Fiche technique concernant l'acétate de sodium trihydraté : <http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/sites/www.spc/labospc/IMG/pdf/acetate-sodium-trihydrate.pdf>, consulté le 05/10/17
- [3] Synthesis of sodium acetate with ethanoic acid and sodium carbonate : <http://www.prepchem.com/synthesis-of-sodium-acetate>, consulté le 12/10/17
- [4] EMMA FOLLIASSON, LUDOVIC FOURNIER : Revue du Palais de la Découverte n°407, Des cristaux d'acétate de Sodium : *Novembre-Décembre 2016, pages 58-59*
- [5] JEAN-MICHAEL COURTY, EDOUARD KIERLIK : Pour la Science n°374, Les chaufferettes chimiques : *Décembre 2008, pages 108-110*
- [6] MIKKO KEINANEN : Thèse : Latent heat recovery from supercooled sodium acetate trihydrate using a brush heat exchanger : *Août 2007*

DOT

[1] Début septembre, recherche d'un sujet de travail qui s'est suivi par le choix des cristaux comme domaine d'étude. Recherche d'une bibliographie fiable sur le sujet puis de cristaux à étudier dont les expériences sont réalisables. Décision fin septembre, d'étudier l'acétate de sodium appliqué à la sursaturation.

[2] Après concertation, nous décidons début octobre de synthétiser de l'acétate de sodium afin de réaliser les expériences futures avec notre propre acétate de sodium trihydraté. Compte tenu du rendement ainsi que du nombre d'étapes de synthèse et purification nous décidons finalement d'utiliser de l'acétate commercial pour la suite.

[3] Réalisation en novembre des solutions sursaturées en acétate de sodium trihydraté pour l'étude thermodynamique ultérieure. Cette partie a été la plus chronophage du TIPE compte tenu de l'instabilité des solutions ainsi préparées empêchant toute mesure d'une séance à l'autre.

[4] Suite aux problèmes rencontrés, nous sommes parvenus fin décembre à obtenir des solutions exploitables. La modification des fractions massiques en acétate de nos solutions a permis d'établir une loi empirique donnant la température maximale atteignable lors de la cristallisation connaissant la fraction massique en acétate de sodium.

[5] Dans le but de quantifier l'énergie thermique dégagée lors de la cristallisation de l'acétate de sodium en solution métastable, plusieurs études thermodynamiques ont été réalisées. La première méthode, qui s'est révélée être très efficace, a consisté à déterminer l'enthalpie standard par calorimétrie.

[6] Dans le courant du mois de février, la deuxième méthode a été réalisée, grâce la relation de Van't Hoff l'enthalpie standard a été déterminée. Pour ce faire de nombreuses solutions saturées ont été réalisées à différentes températures afin de déterminer par un titrage acido-basique la solubilité de l'acétate dans l'eau.

[7] A la suite de ces études thermodynamiques de la réaction de cristallisation de l'acétate de sodium, l'analyse de la chaufferette chimique nous a permis de confirmer que notre modèle ainsi établi est en accord avec le produit commercial.

[8] Enfin, la taille du dispositif de chauffage a été étudiée et donc le transfert thermique également afin comprendre pourquoi les chaufferettes chimiques ne sont fabriquées que dans un petit format et non de la taille d'une bouilloire traditionnelle fonctionnant à l'eau chaude.