Malonga Dyvine

L’acétate de sodium et ses applications : la surfusion et la chaufferette physique

En utilisant un jour d'hiver une chaufferette physique réutilisable, je me suis interrogée sur son fonctionnement et sur la possibilité de restituer de la chaleur de manière autonome, sans raccordement électrique. Cela m'a conduit à m'intéresser aux propriétés thermodynamiques de l'acétate de sodium et ses applications, afin d'étudier comment la concentration et la cinétique de cristallisation permet d'améliorer les performances de la chaufferette.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- CHIMIE (Chimie Théorique - Générale)

- PHYSIQUE (Physique de la Matière)

Mots clés:

Mots-clés (en français) :

1. Surfusion

2. Matériaux à changement de phase

3. Acétate de sodium trihydraté

4. Cinétique de cristallisation

5. Transferts thermiques

Mots-clés (en anglais) :

1. Supercooling

2. Phase change materials

3. Sodium acetate trihydrate

4. Crystallization kinetics

5. Thermal transfer

Malonga Dyvine

Bibliographie commentée

Le stockage d'énergie thermique et sa restitution passive constituent une application majeure de la thermodynamique des Matériaux à Changement de Phase (MCP) [1, 2]. Contrairement aux systèmes jetables fonctionnant grâce à l'oxydation du fer [3], le fonctionnement de la chaufferette portative réutilisable repose sur la transition de phase liquide-solide d'une solution sursaturée d'acétate de sodium trihydraté ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) [2, 4].

À pression atmosphérique, la température de fusion théorique de cette espèce en solution sursaturée est d'environ de 54°C [2, 4]. Le refroidissement lent de la solution permet à la solution d'être toujours liquide même après sa température de fusion : c'est l'état de surfusion [2, 4]. Thermodynamiquement, le liquide se retrouve bloqué dans un état instable.Quand le solvant revient à sa température ambiante, sa solubilité diminue et donc à la moindre perturbation l'excédent de soluté va vouloir être libéré. Dans le cas de l'acétate le surplus de précipité se transforme en cristaux. [1, 2].

La rupture contrôlée de cette métastabilité est provoquée par une perturbation mécanique créant une inhomogénéité , généralement provoquée par le pliage d'une plaquette métallique immergée [2, 3]. Cette action produit une onde de choc ou libère des micro-cavités gazeuses créant des sites de nucléation [2].Dès la formation du premier germe cristallin, la solidification se propage très rapidement à travers tout le sachet sous la forme d'un front de cristallisation [1, 2].

La réaction de cristallisation est une réaction exothermique, ce qui réchauffe instantanément le sachet autour de 54°C. En pratique, la quantité de chaleur restituée et la vitesse de chauffe dépendent directement de la façon dont les cristaux progressent et des transferts thermiques dans le liquide[1]. Pour une chaufferette de poche, il devient donc nécessaire de tester par l'expérience comment la concentration en soluté modifie la vitesse de cristallisation et la durée totale de chauffe[1,2]. Enfin, le fait de devoir faire bouillir le sachet à chaque fois pour le réutiliser soulève une autre question clé : celle de sa durabilité et de sa résistance au fil des cycles [2,3].

Malonga Dyvine

Problématique retenue

Comment la concentration en acétate de sodium trihydraté et la vitesse de propagation du front de cristallisation conditionnent-elles la puissance thermique maximale et la durée de restitution de la chaufferette ?

Objectifs du TIPE du candidat

1. Caractériser l'influence de la concentration en acétate de sodium sur la température maximale atteinte et la durée du plateau thermique.

2. Quantifier la cinétique de solidification en mesurant, par acquisition vidéo, la vitesse de propagation du front de cristallisation.

3. Modéliser les transferts thermiques par un bilan d'énergie afin de confronter le modèle théorique aux mesures expérimentales de restitution de chaleur.

Références bibliographiques

- **[1]** Villière, M., *Étude du stockage d'énergie thermique à haute température par Matériaux à Changement de Phase (MCP)*, Thèse de doctorat, Université de Nantes (2013).
- **[2]** Courty, J.-M., Kierlik, É., « Les chaufferettes chimiques », *Pour la Science / Idées de physique*, n° 374, p. 108-110 (2008).
- **[3]** Le Journal de la Météo de l'Ain, *Comment fonctionne une chaufferette chimique ?*, en ligne : http://www.meteo-ain.fr.
- **[4]** Lelivrescolaire.fr, *Physique-Chimie Tle : Étude du fonctionnement et de la réaction exothermique d'une chaufferette de poche à l'acétate de sodium*.
- **[5]** Éditions Hatier, *Fiche TP 1STI2D : Analyse thermique des chaufferettes physiques réutilisables*.