

Projet de communication scientifique

Les polymères sous les étoiles

Année 2021-2022

Dierick Sébastien, Dussart Alexia, Dussein Yannick, Gillotay Marie
Encadrante : Ouadi Sana

Dans cet atelier consacré à l'exploration spatiale, nous allons parler des polymères. Qu'est-ce que c'est ? Où pouvons-nous en trouver ? Pourquoi s'y intéresser ? Lors de cet atelier, nous aborderons le fait que les propriétés d'un polymère dépendent des conditions telles que la température et la pression. Pour ce faire, nous réaliserons une balle rebondissante et ferons varier la température. Ainsi, nous pourrons observer à quel point la faculté de rebondissement est impactée.

Tout d'abord, qu'est-ce qu'un polymère ? C'est une chaîne, une grande molécule composée de petites sous-unités répétées, appelées monomères, liées les unes aux autres. Nous parlerons plus tard de l'acétate de vinyle et du polymère formé par répétition de ce monomère.

Nous retrouvons les polymères partout autour de nous : dans certains matériaux, dans nos vêtements, ... Nous en trouvons notamment dans la frigolite (le polystyrène), dans les cd/dvd (les polycarbonates), dans les vêtements (les microfibres).

Le téflon (polytétrafluoroéthylène) est présent dans la vie quotidienne, notamment en cuisine : on le retrouve dans les poêles. Nous l'utilisons entre autres pour sa bonne résistance à la chaleur. Ce polymère est également employé pour l'exploration spatiale, par exemple dans les combinaisons spatiales. En effet, le téflon conserve ses propriétés dans une large gamme de température, c'est un bon isolant, il est flexible, il absorbe peu l'humidité et il n'est pas toxique, ce qui fait de ce matériau un bon choix pour les conditions aussi bien terrestres que spatiales.

En pratique, lors de cet atelier, nous parlerons du polyacétate de vinyle, que l'on retrouve dans la colle. Celle-ci doit être une colle vinylique sinon l'expérience ne fonctionne pas. En effet, un autre type de colle ne contient pas le polymère qui nous intéresse ici.

Avec ce polymère, les élèves réaliseront une balle rebondissante. Le polyacétate de vinyle retrouvé dans la colle est mélangé avec du borax hydraté. Ce dernier va relier les chaînes de polymères entre elles. Nous pouvons penser à l'analogie d'un pont qui relie les deux rives. Ce phénomène est appelé la réticulation (voir annexe 4). À la colle, nous ajoutons des pigments thermochromiques (voir annexe 3). Ceux-ci changent de couleur en fonction de la température : ils donnent une couleur verte à la balle lorsque celle-ci est soumise à une température inférieure à 30 °C. Au-delà de cette température, les pigments deviennent incolores et la balle a donc une couleur blanche. De cette manière, le changement de température de l'objet se voit directement.

Quel est l'intérêt de cette expérience ? Pourquoi s'intéresser aux polymères ?

Nous avons donc démontré que les propriétés des polymères dépendent des conditions extérieures auxquelles ils sont soumis. En effet, dans notre cas, la faculté de rebondissement de la balle (donc l'élasticité de la molécule) dépend de la température. Comme nous pouvons l'observer dans le tableau 1. lorsque la balle est chauffée, elle rebondit moins fort qu'à température ambiante. Inversement, lorsque la balle est refroidie, elle rebondit plus. La balle chaude amorti le choc avec le sol, c'est pourquoi la balle rebondit moins. Quand nous la refroidissons, le choc est donc moins amorti. Nous pouvons le voir comme un ballon gonflé et dégonflé (respectivement le cas de la balle froide et de la balle chaude).

Essai	Température < 30 °C (-18 °C)	Température ambiante (23 °C)	Température > 30 °C (34 °C)
h ₁ (cm)	34	26	22
h ₂ (cm)	33	27	22
h ₃ (cm)	34	25	22
h ₄ (cm)	33	26	21
h ₅ (cm)	34	24	20
h_{moy} (cm)	33,6	25,6	21,4

Tableau 1. Mesure de la hauteur de rebondissement de la balle lors de 5 essais, en fonction de la température de l'objet.

Il est dès lors important de choisir les polymères les mieux adaptés aux conditions extrêmes telles que les conditions spatiales. Mais cela reste également important sur terre.

Dans l'espace, la température et la pression sont fort différentes de celles sur terre. Il faut également prendre en compte le passage au travers l'atmosphère. Par exemple, l'Udel® polysulfone est un polymère que l'on retrouve dans les visières des combinaisons spatiales. Il protège les astronautes des rayons solaires puisqu'il n'y a plus d'atmosphère pour jouer ce rôle. Il est donc important de faire attention à utiliser des polymères qui supportent ces conditions extrêmes et ces variations de températures et de pressions.



Expérimentarium de Chimie de l'ULB

ULB · Campus Plaine · Bâtiment A · Local A2.239

<https://sciences.brussels/xc/> · exchi@ulb.be

EX¹⁵PERIMENTAr¹⁸IUM
DE C⁶HIMIE

ULB Faculté
des
Sciences

Mode opératoire : La balle rebondissante

Matériel

- Colle vinylique blanche
- Tétraborate de sodium
- Eau distillée
- Pigments thermochromiques
- 2 béchers
- 1 spatule
- Des gants

Mode opératoire

1. Pesez 18 g de colle vinylique blanche dans un bécher. Ajoutez à cela 0,5 g de pigments thermochromiques et mélangez.
2. Dans un autre bécher, pesez 6 g de tétraborate de sodium. Ajoutez dans ce bécher 15 mL d'eau distillée et remuez jusqu'à obtenir un mélange homogène.
3. Transférez le contenu dans le bécher qui contient la colle colorée.
4. Commencez à mélanger. Une fois que vous avez obtenu une pâte, prenez-la en main et formez une balle jusqu'à ce qu'elle ne soit plus humide.
5. Dans un premier temps, faites rebondir la balle à température ambiante. Prenez note de la hauteur. Ensuite, refroidissez-la au congélateur pendant 30 min. Faites-la rebondir à nouveau et notez également la hauteur. Après, chauffez-la au sèche-cheveux jusqu'à ce que la balle change de couleur. Faites-la encore rebondir en prenant note de la hauteur dans ce cas.



Expérimentarium de Chimie de l'ULB

ULB · Campus Plaine · Bâtiment A · Local A2.239

<https://sciences.brussels/xc/> · exchi@ulb.be

EX¹⁵PERIMENTARIUM¹⁸
DE C⁶HIMIE

ULB Faculté
des
Sciences

Date :

Les polymères sous les étoiles

Rapport de manipulation : La balle rebondissante

1. Donnez un exemple de polymère que l'on retrouve dans la vie courante.

2. Quelle couleur a la balle à température ambiante, après l'avoir chauffée et lorsqu'elle est refroidie au congélateur ?
 - T° ambiante :
 - T° basse :
 - T° élevée :

3. Complétez le tableau :

Essai	T° ambiante	T° basse	T° élevée
h1 (cm)			
h2 (cm)			
h3 (cm)			

Annexe 3 : L'effet thermochromique

L'effet thermochromique consiste en un changement de couleur d'un objet dû à un changement de température. Afin d'expliquer cet effet, nous devons nous intéresser à ce qui fait que l'œil perçoit un matériel d'une certaine couleur.

La lumière est une onde électromagnétique ; cette onde peut être caractérisée par sa longueur d'onde et c'est elle qui va déterminer la couleur perçue. La longueur d'onde que l'on perçoit est polychromatique, c'est-à-dire une combinaison de plusieurs longueurs d'onde. La couleur avec laquelle un objet apparaîtra sera donc un mélange complexe de longueurs d'onde.

L'effet thermochromique (donc l'influence de la température sur la couleur de l'objet) va consister en la modification de ce mélange complexe par le biais de plusieurs mécanismes

Voici deux exemples simples qui montrent l'effet que la température a sur la matière et qui mène à la modification de sa couleur.

Tout d'abord, nous allons traiter de la réflexion afin de voir comment celle-ci est impactée et donc amène à l'altération de la lumière renvoyée par l'objet. La réflexion est le fait que la matière réfléchit l'onde qui la percute, de la même manière qu'un miroir.

En effet, certains matériaux, comme les cristaux photoniques, qui ont une structure tridimensionnelle périodique, vont voir celle-ci changer sous l'effet d'une augmentation de la température. Cela modifiera in fine la longueur d'onde réfléchie.

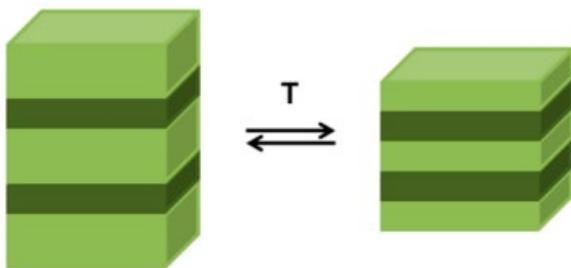


Fig.1 : modèle 1D d'un cristal photonique construit avec des couches réactives à la température en vert clair et des couches non réactives à la température en vert foncé.

Nous pouvons voir sur la fig 1. le schéma d'un cristal photonique qui a une structure périodique selon une seule dimension. On peut voir que la température va augmenter le volume de la partie vert clair. Et donc augmenter la longueur que la lumière devra parcourir pour atteindre l'autre couche Les cristaux photoniques sont des structures périodiques constituées d'au moins deux

matériaux qui ont des indices de réflexion différents. La lumière sera réfléchiée en partie à la frontière de chaque couche et donc repartira dans le sens opposé. En fonction de la distance que cette dernière parcourra pour changer de couche, elle sera en phase ou non avec les ondes lumineuses incidentes (c'est-à-dire le rayonnement qui percute la matière en premier lieu). Les rayons réfléchis et incidents se combineront de manière additive ou non. Certaines longueurs d'onde seront annulées et d'autres pas, ce qui modifiera la couleur du cristal.

Un autre effet de la température est la modification de la longueur de liaison chimique conjuguée au sein même de la molécule. La conjugaison apparaît lorsque des liaisons multiples sont proches, séparées par une liaison simple. Les électrons des liaisons multiples peuvent alors se déplacer via cette liaison simple. Ce phénomène stabilise la molécule et caractérise l'absorption de la lumière par la molécule. L'absorption est le fait que la matière ne réfléchit pas l'onde mais l'absorbe. En fonction des longueurs d'onde absorbées, un objet aura une certaine couleur. Un changement dans la taille de ce genre de liaison aura pour conséquence un déplacement dans le domaine d'absorption des longueurs d'onde : la manière dont la matière absorbe sera impactée. Même de petites variations peuvent occasionner de grandes modifications au niveau de la couleur perçue.

Annexe 4 : La réticulation

La réticulation est un phénomène qui permet de relier des chaînes de polymères entre elles. Cela forme donc une plus grande molécule, plus stable et lui confère de nouvelles propriétés dont l'élasticité ou la rigidité.

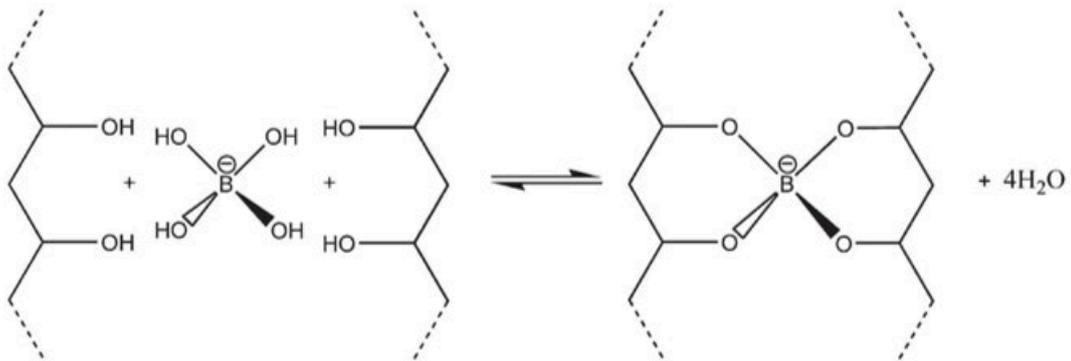


Fig2. Réticulation d'un polymère par le tétrahydroxyborate B(OH)₄

Dans la fig 2. nous pouvons observer que les deux chaînes de polymères vont réagir avec l'agent de réticulation afin de former la structure sur la droite. Cette formation de liaison est à l'équilibre mais la libération d'eau tire l'équilibre vers la réticulation.

Annexe 5 : Amélioration du mode opératoire

Dans le mode opératoire sur lequel nous nous sommes basés, nous avons apporté quelques modifications. Tout d'abord il faut préciser que la colle doit être vinylique sinon l'expérience ne fonctionne pas puisque la colle ne contient pas le polyacétate de vinyle.

Ensuite, nous avons trois possibilités de mode opératoire :

Le premier est celui que nous avons gardé et amélioré. En effet, au départ l'eau, le borax et la glue étaient ajoutés en même temps. Ensuite il fallait attendre 10 à 15 secondes pour hydrater le borax. Nous avons décidé de mélanger le borax et l'eau en premier lieu afin qu'il soit bien décahydraté et effectue son rôle d'agent de réticulation. Après cette étape nous rajoutons la glue.

De plus, il faut colorer la colle avec les pigments et non la solution de borax. Nous avons constaté que si nous ajoutions les pigments thermochromiques au borax, ceux-ci restaient principalement dans l'excès d'eau distillée. La balle était donc moins colorée, ce qui fait que le changement de température n'était pas très visuel. Par contre, lorsque nous colorions d'abord la glue, les pigments adhéraient beaucoup mieux.

Dans le deuxième mode opératoire, il y avait de la fécule de maïs en plus. Nous avons constaté que cela asséchait la balle. Elle rebondissait nettement moins bien. Dès lors, notre démonstration de l'effet de la température était moins marquée, c'est pourquoi nous avons gardé le premier mode opératoire.

Dans le troisième, la fécule de maïs remplaçait l'eau distillée. Sans eau, le borax n'était pas hydraté. S'il n'est pas hydraté, il ne jouera pas son rôle d'agent de réticulation. La balle ne se formait pas.

Bibliographie

Mode Opérateur :

11 : *Synthetic Polymers and Plastics (Experiment)*—*Chemistry LibreTexts*. (22 septembre 2021). Consulté 10 février 2022, à l'adresse [https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Laboratory_Experiments/Wet_Lab_Experiments/General_Chemistry_Labs/Online_Chemistry_Lab_Manual/Chem_9_Experiments/11%3A_Synthetic_Polymers_and_Plastics_\(Experiment\)](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Laboratory_Experiments/Wet_Lab_Experiments/General_Chemistry_Labs/Online_Chemistry_Lab_Manual/Chem_9_Experiments/11%3A_Synthetic_Polymers_and_Plastics_(Experiment))

Document Pédagogique/Posters/Vidéo :

Dominguez, B. (2007). *Polymers Chemistry and Physics of Modern Materials* Cowie. *Polymers Chemistry and Physics of Modern Materials* Cowie. https://www.academia.edu/39229048/Polymers_Chemistry_and_Physics_of_Modern_Materials_Cowie

Polytétrafluoroéthylène (PTFE)—Base de données Plastiques, risque et analyse thermique—INRS. Consulté 8 mars 2022, à l'adresse https://www.inrs.fr/publications/bdd/plastiques/polymere.html?refINRS=PLASTIQUEES_polymere_23

Ting, J. M., Ricarte, R. G., Schneiderman, D. K., Saba, S. A., Jiang, Y., Hillmyer, M. A., Bates, F. S., Reineke, T. M., Macosko, C. W., & Lodge, T. P. (2017). Polymer Day : Outreach Experiments for High School Students. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1629-1638. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00767>

Milintchouk, A., Van Eesbeek, M., Levadou, F., & Harper, T. (1997). Influence of X-Ray Solar Flare Radiation on Degradation of Teflon-laquo; in Space. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 34(4), 542-548. <https://doi.org/10.2514/2.3244>

Température Univers. (Modifié le 4/11/2016 à 2h02). *Cité de l'Espace*. Consulté 11 mars 2022, à l'adresse <https://www.cite-espace.com/cite-de-lespace/dans-lunivers-la-temperature-atteint-272c/>

Effet thermochromique :

Thermochromic Polymers—Function by Design | *Chemical Reviews*. (publié le 30/01/2014.).

Consulté 7 mars 2022, à l'adresse <https://pubs-acsc-org.ezproxy.ulb.ac.be/doi/full/10.1021/cr400462e>

Réticulation :

Angelova, L. V., Terech, P., Natali, I., Dei, L., Carretti, E., & Weiss, R. G. (2011). Cosolvent Gel-like Materials from Partially Hydrolyzed Poly(vinyl acetate)s and Borax. *Langmuir*, 27(18), 11671-11682. <https://doi.org/10.1021/la202179e>

Bhattacharya, A., Rawlins, J. W., & Ray, P. (2008). *Polymer Grafting and Crosslinking*. John Wiley & Sons.

Laboratoire d'analyse d'agents de réticulation. (Modifié le 20/10/2021 à 12h44). *FILAB*. Consulté 7 mars 2022, à l'adresse <https://filab.fr/labo-dosage-agents-reticulation/>

Universalis, E. . *POLYMÈRES*. Encyclopædia Universalis. Consulté 7 mars 2022, à l'adresse <https://www.universalis.fr/encyclopedie/polymeres/>