

Les nanotechnologies en renfort pour le nettoyage des marées noires

Publié le vendredi 25 avril 2014

Voir en ligne : <https://www.france-science.org/Les-nanotechnologies-en-renfort.html>

Les rejets d'hydrocarbure dans la mer et les eaux contaminées par des métaux lourds représentent un risque écologique important dont l'une des conséquences est la disparition de faunes et de flores marines. Ces pollutions des eaux ne sont pas aussi rares que l'on pourrait le penser ; par exemple, près de 20.000 marées noires sont reportées chaque année aux Etats-Unis [1]. La dépollution d'une zone contaminée est très coûteuse. Elle pèse sur l'économie de manière significative tant sur les entreprises du secteur que sur la société en général. Un exemple marquant de marée noire récente est la fuite de pétrole sous-marine de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon suite à son explosion. Cette fuite a déversé près de 4,9 millions de barils de pétrole dans le Golfe du Mexique et a coûté à la firme qui exploitait le site plus de 12,5 milliards de dollars en amendes et frais de dépollution.

Les technologies conventionnelles actuellement employées pour limiter et nettoyer les marées noires sont :

- la mise en place d'une barrière de sable sur les plages afin de protéger les côtes ;
- l'utilisation de barrages flottants avec des barrières sous-marines plus ou moins rigides pour contenir la nappe de pétrole ;
- les "oil skimmers" ou récupérateurs de pétrole qui sont utilisés en complément des barrages flottants pour récupérer le pétrole ;
- les dispersants chimiques qui réduisent les effets des marées noires en modifiant les propriétés physiques et chimiques du pétrole ;
- la dépollution biologique car certaines bactéries marines consomment naturellement le pétrole ;
- la combustion contrôlée du pétrole en surface.

Bien qu'il existe une large gamme de techniques conventionnelles de nettoyage, aucune d'elle ne présente une efficacité satisfaisante face aux grandes marées noires. Par exemple, lors de la catastrophe de Deepwater Horizon, plus de 7 millions de litre de Corexit, un dispersant chimique, ont été utilisés afin de dissoudre la marée noire et former de petites gouttelettes à la surface de l'eau ou sur le plancher océanique. Or en 2012, une étude a montré que ce produit augmente la toxicité du pétrole de 52 fois. Ainsi, il s'avère nécessaire de trouver de nouvelles solutions plus écologiques pour nettoyer les marées noires. Ces dernières années, des nouvelles solutions potentielles ont émergées avec les nanotechnologies. De nombreuses équipes de recherche à travers le monde travaillent sur le développement de matériaux intégrant des nanotechnologies pour absorber ou dégrader le pétrole dans le cadre de marées noires. L'effervescence de ce domaine de recherche s'est traduite par un nombre croissant de conférences autour ou intégrant cette thématique. En juin 2013, a eu lieu à la Nouvelle Orléans un workshop dédié à l'application des nanotechnologies à la dépollution environnementale de manière sûre et durable, Nano-4-Rem-Anssers 2013 [2]. En juin 2014 se tiendra la Conférence Internationale sur les Sciences et Technologies de l'Environnement à Houston avec une session dédiée aux nanotechnologies [3] et en août 2014 se tiendra la 4ème Conférence sur la Pollution et la Dépollution Environnementale à Prague [4].

Dans la lignée de l'article de revue sur les solutions basées sur les nanotechnologies pour nettoyer les marées noires rédigé en 2011 [5], nous présenterons ici les avancées les plus marquantes dans ce domaine au cours de l'année écoulée aux Etats-Unis. Ces travaux de recherches sont basés sur des techniques physicochimiques différentes : la physisorption, le magnétisme et la dégradation du pétrole.

Aérogel

Afin d'absorber le pétrole relâché dans les mers lors des marées noires de manière moins coûteuse et plus durable que les technologies conventionnelles, un groupe de chercheurs de l'Université du Wisconsin-Madison mené par le Professeur Shaoquin "Sarah" Gong a développé et breveté un aérogel, semblable à une éponge [6]. En plus de son aptitude à absorber le pétrole, l'aérogel peut absorber les métaux lourds dans l'eau

et sur d'autres surfaces. Les aérogels sont des matériaux solides poreux et très légers qui ont des applications diverses allant de l'isolation aux agents épaississants présents dans les peintures. Intéressée par le développement de technologies possédant un impact sociétal positif, c'est tout naturellement que cette équipe de scientifiques s'est tournée vers la dépollution des marées noires.

L'aérogel développé au laboratoire du Dr. Gong ainsi que son processus de fabrication s'inscrivent dans une démarche de développement durable. En effet, l'aérogel est constitué de nanofibrilles de cellulose et d'un polymère écologique, l'alcool polyvinylique. Le procédé de lyophilisation nécessaire pour assécher le matériau par sublimation est réalisé sans utiliser de solvants organiques.

Aérogel développé par des chercheurs du Wisconsin Institute for Discovery

Crédits : Wisconsin Institute for Discovery

Cet aérogel poreux à 98% et très flexible présente une grande capacité d'absorption des solvants organiques, jusqu'à 100 fois sa propre masse. L'aérogel présente à la fois une propriété hydrophobe et la capacité d'absorber les solvants organiques ou le pétrole. Cette double propriété est due au traitement de surface de l'aérogel à base de cellulose avec des silanes spécifiques. L'idée des chercheurs est la suivante : en cas de marée noire, cette feuille d'aérogel est placée dans l'eau afin d'absorber uniquement le pétrole. Il est ensuite possible d'essorer le matériau comme une éponge pour retirer le pétrole absorbé. L'aérogel peut être réutilisé plusieurs fois, cependant sa capacité d'absorption diminue après chaque cycle. Avant une industrialisation, certaines améliorations doivent être apportées à l'aérogel comme le nombre de cycles du matériau, point sur lequel les chercheurs travaillent actuellement.

Nanoparticules magnétiques

Afin de mettre en place une solution non toxique de nettoyage des marées noires telles que celle engendrée par Deepwater Horizon en 2010 dans le Golfe du Mexique, une autre piste de recherche dans le domaine des nanotechnologies repose sur l'utilisation de nanoparticules magnétiques. Par exemple, en septembre 2012, une équipe de chercheurs du MIT avait annoncé avoir mis au point une technique très efficace de séparation magnétique entre l'eau et le pétrole [7]. Pour cela, ils utilisent des nanoparticules de fer hydrophobes réutilisables capables de se lier au pétrole et d'être récupérées avec un aimant. Ces nanoparticules doivent être utilisées au sein d'un appareil afin de ne pas contaminer l'environnement. Cette technique requiert cependant la connaissance de la concentration en ferrofluide (pétrole + nanoparticules de fer).

De son côté, l'équipe du Professeur Karen L. Wooley à l'Université Texas A&M s'est tournée vers la synthèse de nanoparticules magnétiques constituées d'un coeur d'oxyde de fer recouvert d'un polymère constitué d'un mélange de Styrofoam, polystyrène extrudé, et du matériau absorbant dans les couches pour bébés [8]. En effet, cette équipe est spécialisée dans la synthèse de nanoparticules recouvertes de polymères complexes présentant des propriétés d'absorption, d'adhésion et d'encapsulation afin de proposer des nano-solutions à divers problèmes. Chaque "nano-éponge" ainsi créée - 100 fois plus petite qu'un cheveu humain - peut absorber jusqu'à 10 fois son poids en pétrole brut même sous la surface de l'eau ou dans un mélange avec le sable. En effet, bien que le pétrole remonte en majorité à la surface de l'eau, une partie de ce dernier reste dissout en dessous de la surface. Or les techniques de nettoyage conventionnelles permettent de ne traiter que le pétrole présent en surface. Ainsi, en l'absence d'une solution sous-marine d'absorption du pétrole, ce dernier ne sera pas récupéré. Une fois les nanoparticules immergées dans de l'eau polluée par du pétrole, les nanoparticules changent de couleur, passant d'un brun clair au noir indiquant l'absorption de pétrole par le polymère. Enfin, grâce au Styrofoam, les particules saturées de pétrole flottent, permettant leur collecte avec un aimant. Les nanoparticules sont réutilisables après lavages avec de l'éthanol pour éliminer le pétrole.

Grâce à une simulation de la marée noire engendrée par l'explosion de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon, les chercheurs ont prouvé que leurs nanoparticules auront l'effet attendu dans des conditions réelles. En effet, elles ont absorbé tous types de constituants du pétrole brut des octanes au benzène. Le coût de production estimé de ces nanoparticules n'est, d'après les chercheurs, pas plus élevé que celui des

techniques conventionnelles. De plus, les constituants des nanoparticules, oxyde de fer et polymère sont déjà produits industriellement et l'association de ces deux composants pour former les nanoparticules ne requiert pas d'intervention supplémentaire. D'après le Dr. Wooley, étant donné la capacité d'absorption de ces nanoparticules métalliques, il semble peu probable de pouvoir les utiliser comme solution unique de nettoyage après une marée noire. Cependant, elles seraient très efficaces en complément des méthodes traditionnelles de nettoyage qui permettraient de nettoyer la majorité de la nappe de pétrole ; les nanoparticules permettant de finir le nettoyage.

Toutefois, ces nanoparticules ne sont pas biodégradables ce qui signifie que si elles ne sont pas toutes récupérées, elles devraient flotter indéfiniment à la surface des océans et rejoindre les déchets en plastique déjà présents et qui s'agglomèrent en "icebergs". Pour pallier à ce problème l'équipe de Texas A&M se penche sur la question de leur utilisation dans l'environnement et l'une des solutions serait l'utilisation de polymères à base de produits naturels tels que le sucre qui pourrait se dissoudre en cas de non récupération.

Nanoréseau photoactivable

Une autre technique de dépollution des marées noires consiste quant à elle à dégrader le pétrole en composés biodégradables sans contaminer l'eau. Pour cela, l'équipe du Professeur Pelagia-Irene Gouma au Département des Matériaux et d'Ingénierie à l'Université d'Etat de New York Stony Brook (*State University of New York*) a mis au point un nanoréseau réutilisable constitué d'un maillage métallique à base d'oxyde de cuivre et de tungstène qui, après photoactivation, décompose le pétrole [9]. Le réseau développé fonctionne sur l'ensemble du spectre solaire et il est efficace dans l'eau sur une longue durée, ce qu'aucun photocatalyseur ne peut faire à ce jour. Le filet peut être déployé grâce à un bateau et ce quel que soit l'importance de la marée noire. Cette technologie fonctionne aussi bien dans l'air que dans l'eau ce qui permet d'envisager d'autres applications sans solvants ou sans eau comme le nettoyage des vêtements par exemple.

Ces nano-grilles photocatalytiques sont obtenues par un procédé d'auto-assemblage unique au cours de la nano-fabrication du réseau de nanofibres non tissées sur un réseau métallique. Au cours du chauffage, le cluster métallique diffuse au sein des nanofibres polymériques formant ainsi des nanofils monocristallins avant de s'oxyder pour donner des nanoparticules céramique-oxyde métallique interconnectées comme les maillons d'une chaîne. La structure en 3 dimensions obtenue offre une surface de contact maximale au polluant et sa taille permet une action catalytique rapide, créant une technique de dépollution auto-suffisante de l'eau. En 2011, le Dr. Gouma a obtenu le prix Innovation Corps d'une valeur de 50.000 dollars par la Fondation Nationale pour les Sciences (National Science Foundation, NSF) pour ses travaux [10]. Cette distinction prépare les scientifiques et ingénieurs au transfert de leur recherche du laboratoire académique vers la commercialisation. Aujourd'hui, l'équipe du Dr. Gouma a débuté un processus de création de start-up avec 2 brevets en attente sur le procédé avec l'ambition d'augmenter l'échelle de production et de mener des études pilotes afin de démontrer la faisabilité du procédé en conditions réelles.

Transfert technologique de la recherche à l'industrialisation

Comme l'illustre l'exemple précédent, les nouvelles technologies développées dans les laboratoires de recherche universitaire sont transférées vers une industrialisation lorsque cette dernière est jugée rentable. Le professeur Jeffrey Harvell, Chaire Asahi Glass et ancien doyen du Département d'Ingénierie à l'Université d'Oklahoma, détenteur de 30 brevets dans 12 pays est un exemple de chercheur ayant réussi le transfert technologique de certaines de ses innovations. Il a lancé et collaboré avec des startups notamment dans les domaines de la récupération du pétrole et de la dépollution de l'eau et il a été nommé en décembre 2013, membre de l'Académie Nationale des Inventeurs, distinction professionnelle très honorifique [11]. Cette distinction très honorifique récompense son travail d'invention et de perfectionnement de surfactants, de nanoparticules et de colloïdes pour améliorer leurs performances, l'efficacité du coût et réduire l'impact environnemental dans des domaines tels que les nanotechnologies, la dépollution et les polymères composites.

Sources :

- [6] *Site internet du College of Engineering à l'Université du Wisconsin-Madison : ""Greener" aerogel

technology holds potential for oil and chemical clean-up" : <http://www.engr.wisc.edu/news/archive/2014/feb24.html>

* Article "Green synthesis of polyvinyl alcohol (PVA)-cellulose nanofibril (CNF) hybrid aerogels and their use as superabsorbents", Zheng, Q. et al. J. Mater. Chem. A, 2014, 2, 3110-3118. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/ta/c3ta14642a#!divAbstract>

- [7] Site internet du MIT : "How to clean up oil spills" : <http://newsoffice.mit.edu/2012/how-to-clean-up-oil-spills-0912>

- [8] *Article sur le site livescience.com : "Going Small To Mop Up Big Oil Spill" : <http://www.livescience.com/39910-going-small-to-mop-up-big-oil-spills.html>

* Article "Robust Magnetic/Polymer Hybrid Nanoparticles Designed for Crude Oil Entrapment and Recovery in Aqueous Environments", Pavia-Sanders, A. et al. ACS Nano, 2013, 7, 7552-756. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn401541e>

- [9] Article "Nanogrid, activated by sunlight, breaks down pollutants in water, leaving biodegradable compounds" : <http://www.nanowerk.com/news2/newsid=33155.php>

- [10] Site internet de la National Science Foundation : http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=121879

- [11] Site internet de l'Université d'Oklahoma : "DeAngelis and Harwell named Fellows of the National Academy of Inventors" - http://www.ou.edu/content/web/news_events/articles/news_2013/FellowsofNationalAcademy.html

Pour en savoir plus, contacts :

- [1] Site internet de l'Université Texas A&M : "Texas A&M Chemist Developing Small Solutions for Big Problems" : http://www.science.tamu.edu/news/story.php?story_ID=1131#.U1kVrSZs7bk

- [2] Nano-4-Rem-Anssers 2013 : Applications of Nanotechnology for Safe and Sustainable Environmental Remediations : http://www.southeastern.edu/acad_research/programs/nano_4_rem_anssers/

- [3] *International Conference on Environmental Science & Technology 2014 : <http://www.aasci.org/conference/env/2014/>

* BE Etats-Unis 356 : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/75116.htm>

- [4] 4th international Conference on Environmental Pollution & Remediation : <http://icepr.org/index.html>

- [5] Article "Nanotechnology-based solutions for oil spills" : <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=20215.php>

Code brève

ADIT : 75748

Rédacteurs :

- Maud Bernollin, Attachée Scientifique Adjointe, deputy-phys@ambascience-usa.org ;

- Suivre le secteur Physique, Chimie, Nanotechnologies sur twitter @Fr_US_Nanotechs ;

- Retrouvez toutes nos activités sur <http://france-science.org>.