

Sommaire

La nano dans le secteur de l'énergie

Auteurs : Sean Kelly, Nikolina Latkovic

Date de la dernière modification : [10.01.2022]

Thème

Introduction

La demande d'énergie ne cesse d'augmenter, tout comme la gravité des problèmes qui y sont associés, tels que le changement climatique. Lorsque nous parlons d'énergie, nous entendons tout, de l'électricité que nous utilisons à la maison à la propulsion des voitures, des avions et des trains. Et les nanotechnologies ont le potentiel de changer la façon dont nous produisons, stockons et utilisons l'énergie, permettant à nos énergies d'être plus propres, plus efficaces et moins chères.

Ce domaine est un objet d'intérêt croissant non seulement en terme d'opportunités de marché, mais aussi en tant que solution aux problèmes causés par notre dépendance aux combustibles fossiles, à savoir le changement climatique et la pollution. Avec l'abandon progressif de l'incinération des combustibles fossiles par la société lors de la production d'énergie, nous considérons les nanotechnologies comme un moyen de résoudre certains des problèmes associés à cet abandon progressif. De nouveaux nanomatériaux peuvent nous aider à mieux capter l'énergie, par exemple grâce à des cellules solaires plus efficaces ; à stocker l'énergie, par exemple grâce à de meilleures batteries pour les véhicules électriques ; et à utiliser l'énergie, par exemple grâce à de meilleurs matériaux isolants pour les bâtiments et la réduction de la consommation d'énergie qui y est associée.

Il est important de prendre conscience que la réalisation d'un seul changement dans la chaîne de valeur énergétique, de la capture au stockage en passant par l'utilisation de l'énergie, ne résoudra pas le changement climatique. Des ajustements et des améliorations techniques sont nécessaires tout au long du cycle énergétique afin que nous puissions produire de l'énergie propre, la stocker en toute sécurité et l'utiliser efficacement.

Signification pratique - vous appliquez ici vos connaissances et savoir-faire

Dans cette section, vous découvrirez quelles utilisations les nanotechnologies peuvent trouver dans le système énergétique, de la production à l'utilisation d'énergie. Vous verrez des exemples déjà existants ainsi que les opportunités futures qui sont encore en développement.

Aperçu des objectifs d'apprentissage et des compétences

Dans la partie *Nanotechnologies dans la chaîne de valeur énergétique*, vous découvrirez comment les nanotechnologies peuvent être utilisées tout au long de la chaîne de valeur énergétique.

Dans la partie *Certains des nanomatériaux et des nanostructures utilisés dans la chaîne de valeur énergétique*, vous apprendrez à connaître certains des nanomatériaux et des nanostructures qui s'offrent pour une utilisation dans le secteur de l'énergie.

Dans la partie *Nanotechnologies pour l'énergie dans l'industrie automobile*, nous examinerons de plus près un domaine particulier d'utilisation de l'énergie, à savoir l'industrie automobile.

Objectifs pédagogiques	Objectifs partiels
LO_Nanotechnology in the energy value chain_01	FO_BB01_01 Qu'est-ce qu'une chaîne de valeur énergétique ? FO_BB01_02 Les nanotechnologies dans la chaîne de valeur énergétique FO_BB_01_0 Exemples d'utilisation des nanotechnologies dans le secteur de l'énergie
LO Some nanomaterials and nano structures used in the energy value chain_02	FO_BB02_01 Exemples de matériaux utilisés dans le secteur de l'énergie FO_BB02_02 Le graphène et son utilisation dans le secteur de l'énergie FO_BB_02_03 Les nanotubes de carbone et leur utilisation dans le secteur de l'énergie FO_BB_02_03 Les nanoparticules d'argent et leur utilisation dans le secteur de l'énergie
LO_Nanotechnology for energy in the automotive sector_03	FO_BB03_01 Les nanotechnologies dans les batteries de véhicules électriques FO_BB03_02 Pourquoi l'allègement des voitures aide d'un point de vue énergétique FO_BB_03_03 Utilisation des nanotechnologies pour réduire les frictions et économiser de l'énergie

- **Les nanotechnologies dans l'énergétique**

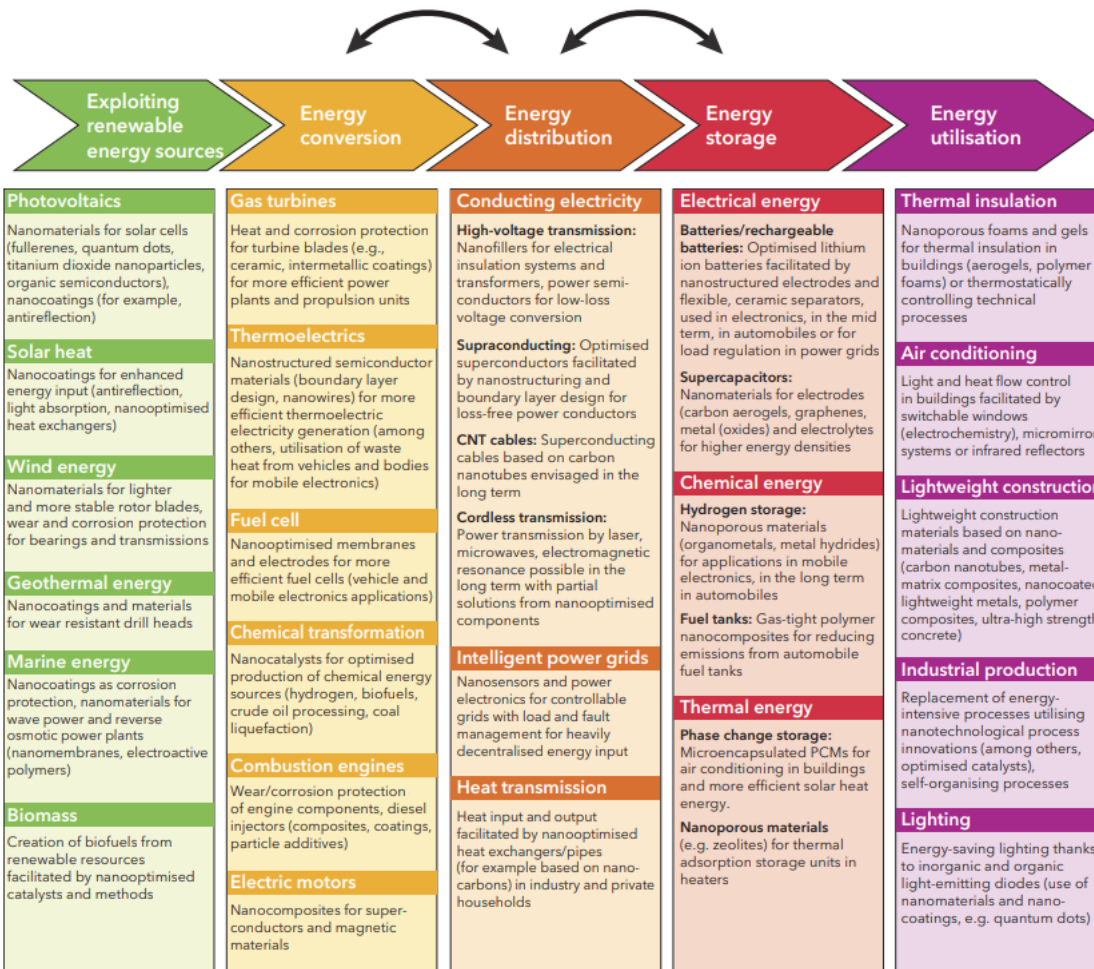
La demande mondiale concernant l'énergie augmente parallèlement à la croissance démographique et au volume de l'activité industrielle. Nous avons tous besoin d'énergie pour la propulsion des voitures, chauffer les maisons, alimenter les appareils électroniques et produire la nourriture et les biens que nous achetons. La majeure partie de l'énergie est encore produite par nos sources d'énergie traditionnelles utilisant le charbon, le gaz et le pétrole. Cependant, il y a au moins deux raisons fondamentales pour lesquelles ces sources d'énergie ne seront pas durables dans l'avenir. Premièrement, les réserves de combustibles fossiles ne sont pas infinies et s'épuiseront un jour. Deuxièmement, l'incinération de combustibles fossiles est la cause de changements climatiques, nous devons donc réduire la quantité de carbone que nous émettons dans l'air.



Les nanotechnologies ont déjà un rôle à jouer dans tous les domaines de la chaîne énergétique et nous espérons également qu'elles nous aideront à mieux maîtriser une énergie plus propre, à la stocker plus efficacement et à utiliser l'énergie produite également plus efficacement. Les nanotechnologies représentent un vaste domaine, elles n'offrent donc pas une solution unique pour le secteur de l'énergie, mais un certain nombre d'applications tout au long de la chaîne énergétique. La chaîne de valeur énergétique comprend :

- Capture de l'énergie – ou capacité d'utiliser différentes sources d'énergie ;
- Conversion de l'énergie – conversion d'une forme à une autre, par exemple à partir du vent (énergie cinétique en énergie électrique) ;
- Distribution de l'énergie – transfert d'énergie d'un endroit à un autre, par exemple un réseau national de distribution ;
- Stockage de l'énergie – capacité de stocker de l'énergie pour une utilisation ultérieure, par exemple dans une batterie ;
- Consommation de l'énergie – comment les nanotechnologies peuvent nous aider à utiliser l'énergie plus efficacement, par exemple en isolant mieux les bâtiments ou en allégeant les voitures, qui utiliseront donc moins de carburant.

Il existe de nombreuses nanotechnologies qui peuvent être utilisées tout au long de la chaîne de valeur énergétique, voir l'illustration ci-dessous.



Utilisation des sources d'énergie renouvelables	Conversion de l'énergie	Distribution de l'énergie	Stockage de l'énergie	Utilisation de l'énergie
Photovoltaïque Nanomatériaux pour cellules solaires (fullerènes, points quantiques, nanoparticules de dioxyde de titane, semi-conducteurs organiques), nano-traitement de surface (par exemple antiréfléchissant)	Turbines à gaz Protection thermique et contre la corrosion des pales de turbine (par exemple traitement de surface céramique, intermétallique) pour une efficacité accrue des unités de production d'énergie et des unités de propulsion	Transport d'électricité Transmission haute tension : Nano-garniture pour systèmes d'isolation électrique et transformateurs, semi-conducteurs pour convertisseurs de tension à faibles pertes Supraconductivité : Supraconducteurs optimisés grâce à la nanostructure et la structure de la couche limite pour des conducteurs sans pertes Câbles NTC : Câbles supraconducteurs en nanotubes de carbone sur le long terme Transmission sans fil : Transmission de l'énergie électrique par laser, micro-ondes, résonance électromagnétique rendue possible à long terme en partie grâce à des composants nano-optimisés	Énergie électrique Piles/accumulateurs : Batteries lithium-ion optimisées grâce à des nano-électrodes et des séparateurs céramiques flexibles, utilisation en électronique, à moyen terme dans les voitures ou contrôle de charge des réseaux électriques Supercondensateurs : Nanomatériaux pour électrodes (aérogels de carbone, graphènes, métaux (oxydes) et électrolytes pour une densité d'énergie plus élevée)	Isolation thermique Mousses et gels nanoporeux pour l'isolation thermique des bâtiments (aérogels, mousses polymères) ou contrôle thermostatique des procédés techniques
Chaleur solaire Nano-traitement de surface pour des apports d'énergie plus élevés (échangeurs de chaleur antiréfléchissants, absorbant la lumière, nano-optimisés)	Thermoelectricité Nanomatériaux semi-conducteurs (conception de couche limite, nanoconducteurs) pour une production thermoelectrique plus efficace d'électricité (entre autres utilisation de la chaleur résiduelle des véhicules et des boîtiers de l'électronique mobile)	Réseaux électriques intelligents Nanocapteurs et électronique de puissance pour réseaux contrôlés avec contrôle de charge et gestion des pannes pour des entrées d'énergie hautement décentralisées	Énergie chimique Stockage de l'hydrogène : Matériaux nanoporeux (organométalliques, hybrides métalliques) pour une utilisation dans l'électronique mobile, à long terme dans les voitures Réservoirs de carburant : Nanocomposites polymères étanches à l'air pour réduire les fuites de gaz des réservoirs de carburant des voitures	Climatisation Contrôle des flux de lumière et de chaleur dans les bâtiments grâce à la commande des fenêtres (électrochimie), à des systèmes de micro-miroirs ou des réflecteurs infrarouges
Énergie éolienne Nanomatériaux pour des pales de rotor plus légères et plus stables, protection contre	Cellules à combustible Membranes et électrodes nano-optimisées pour des cellules à combustible plus efficaces	Transfert de chaleur Entrée et sortie de chaleur rendues possibles par des échangeurs de chaleur et des pipelines nano-optimisés (par	Énergie thermique Centre de stockage avec changement d'état : PCM micro-encapsulés pour la climatisation des bâtiments et	Constructions légères Matériaux de construction légers à partir de nanomatériaux et de composites (nanotubes de carbone, composites à matrice

l'usure et la corrosion des paliers et des transmissions	(véhicules et électronique mobile)	exemple en utilisant du nanocarbone pour l'industrie et les ménages	une utilisation plus efficace de l'énergie solaire thermique Matériaux nanoporeux (par exemple zéolithes) pour le stockage avec adsorption thermique dans les appareils chauffants	métallique, matériaux légers avec nano-finition, composites polymères, béton à ultra-haute résistance)
Énergie géothermique Nano-traitement de surface et matériaux résistants à l'usure pour têtes de forage	Transformation chimique Nanocatalyseurs pour une production optimisée de sources d'énergie chimiques (hydrogène, biocarburants, traitement du pétrole, liquéfaction du charbon)			Production industrielle Remplacement des procédés énergivores par l'utilisation d'innovations de procédés nanotechnologiques (y compris des catalyseurs optimisés), procédés à organisation propre
Énergie de la mer Nano-traitement de surface comme protection contre la corrosion, nanomatériaux pour centrales à vagues et centrales électriques utilisant l'osmose inverse (nanomembranes, polymères électroactifs)	Moteurs à combustion Protection contre l'usure et la corrosion des composants du moteur, des injecteurs de carburant (composites, traitement de surface, additifs)			Éclairage Éclairage économe en énergie grâce à des diodes lumineuses inorganiques et organiques (utilisation de nanomatériaux et de nano-traitement de surface, par exemple points quantiques)
Biomasse Production de biocarburants à partir de sources renouvelables rendue possible par des catalyseurs et des méthodes nano-optimisés	Moteurs électriques Nanocomposites pour supraconducteurs et matériaux magnétiques			

Exemple

Cellules solaires

Les cellules solaires sont actuellement fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs et atteignent une efficacité d'environ 10-15 %, ce qui signifie qu'elles ne convertissent pas autant d'énergie solaire en électricité que ce qui serait souhaitable. Des particules de silicium à l'échelle nanométrique ont déjà été utilisées pour réduire la quantité de lumière solaire réfléchiée par la cellule solaire et la nouvelle conception permet une meilleure conduction et absorption de la lumière par la cellule solaire, et non pas sa réflexion, augmentant ainsi l'efficacité du panneau. Bien qu'actuellement le matériau le plus utilisé pour la production des panneaux solaires soit le silicium cristallin, de nouvelles alternatives prometteuses telles que la pérovskite émergent. Les cellules solaires à pérovskite avec nanostructure ont une efficacité remarquablement supérieure à celle des cellules en silicium existantes, mais certains problèmes technologiques doivent encore être résolus.

Exemple

Éoliennes

Les éoliennes sont utilisées comme une source d'énergie renouvelable pratique pour convertir l'énergie éolienne en électricité. Les pales de turbine doivent être solides pour résister aux forces énormes auxquelles elles sont soumises, et en même temps légères pour tourner avec un rendement élevé. Les bords des lames peuvent être protégés par leur conception en composite de graphène. Cela prolonge la durée de vie des bords et les protège des dommages et donc d'une réduction de leur efficacité aérodynamique. Cela réduit la probabilité de dommages et économise les coûts de maintenance, le cas échéant il n'est pas nécessaire de changer la pale entière.

Quelques-unes des nanotechnologies utilisées dans le secteur de l'énergie

Un certain nombre de nanotechnologies peuvent être utilisées dans le secteur de l'énergie. Différents nanomatériaux et nanostructures peuvent remplir différentes fonctions et offrir un large éventail d'applications.

Définition

Nanomatériau

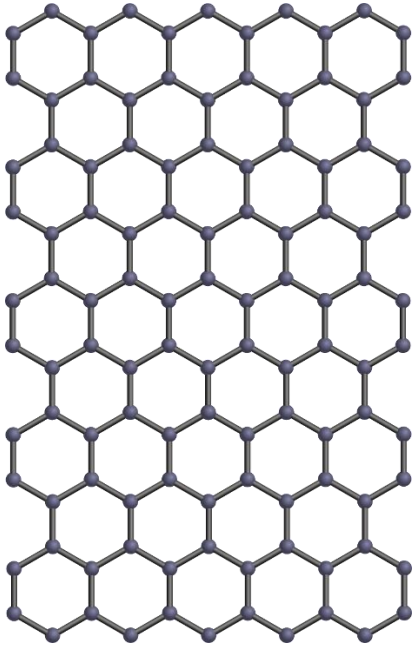
Un nanomatériau peut être défini comme un matériau ayant au moins une des dimensions de 1 à 100 nanomètres. Ici, nous traitons principalement de nanomatériaux artificiels, c'est-à-dire de matériaux à l'échelle nanométrique fabriqués à dessein pour avoir des dimensions et des propriétés spécifiques.

Nanostructure

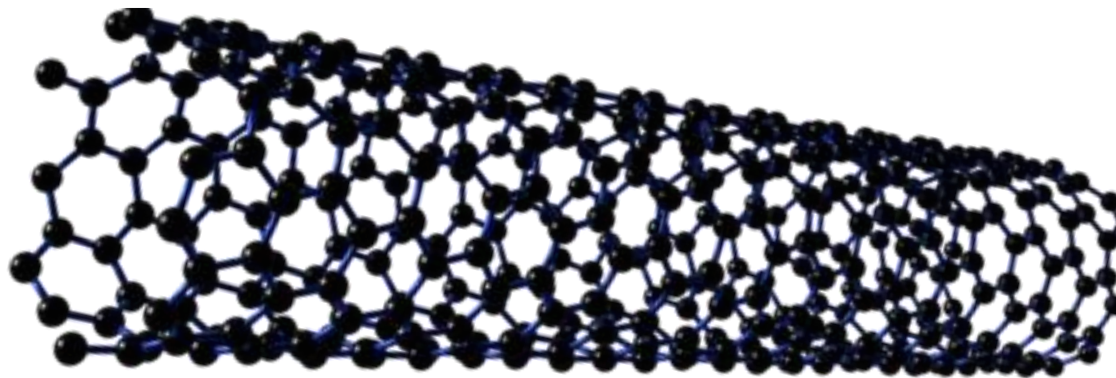
Une nanostructure peut être définie comme une structure ayant au moins une des dimensions de 1 à 100 nanomètres. Les exemples incluent une nanostructure unidimensionnelle (par exemple une surface nanotexturisée), une nanostructure bidimensionnelle qui a deux dimensions à l'échelle nanométrique (par exemple un nanotube de carbone) ou une structure tridimensionnelle qui a les trois dimensions à l'échelle nanométrique (par exemple une nanoparticule).

Une large gamme de nanomatériaux peut être utilisée dans le secteur de l'énergie, et leur utilisation potentielle dépend de la fonction souhaitée et des propriétés physiques du matériau. Bien sûr, certains matériaux peuvent être utilisés pour leur conductivité électrique, d'autres en raison de leur haute résistance ou de leur longue durée de vie. Certains matériaux ont plusieurs propriétés utiles. Les nanomatériaux sont souvent utilisés en conjonction avec d'autres matériaux, dont beaucoup ne sont pas à l'échelle nanométrique, et étendent leur fonctionnalité. Par exemple, un nanomatériau peut être ajouté dans un matériau composite pour lui donner de la conductivité ou augmenter la résistance ou fournir une isolation. Il y a tellement de nanomatériaux utilisables qu'il n'est pas possible de tous les énumérer ici, nous ne montrerons donc que quelques exemples de nanomatériaux qui peuvent être utilisés dans le secteur de l'énergie.

Graphène : Très fine couche de carbone appelée matériau 2D, car elle peut être constituée d'une grande molécule dans une direction, mais son épaisseur ne peut être que d'un atome. Le graphène est souvent désigné comme le matériau le plus mince au monde et est également l'un des plus solides et des plus conducteurs d'électricité en même temps. En raison de ses propriétés physiques intéressantes, le graphène est un candidat pour un large éventail d'applications, y compris dans le secteur de l'énergie. Les batteries utilisant du graphène pourraient être flexibles et légères, tout en étant capables de se charger plus rapidement et de retenir l'énergie pendant de plus longues périodes. En plus de son faible poids et de sa résistance élevée, le graphène a également une grande surface superficielle, de sorte qu'il peut contenir plus d'énergie. C'est donc un candidat idéal pour le rôle de stockage d'énergie.



Nanotubes de carbone : Feuille d'atomes de carbone torsadée en un tube, soit à paroi unique (une feuille enroulée), soit à paroi multiple (cylindres de carbone insérés dans d'autres cylindres de carbone). Les nanotubes de carbone (NTC) ont des propriétés uniques et intéressantes. Les propriétés fonctionnelles des différents NTC dépendent de leurs propriétés physiques respectives, telles que le diamètre, la longueur ou la chiralité (tournoiement). Ils sont l'un des matériaux les plus rigides et les plus résistants qui peuvent être produits, par exemple ils sont beaucoup plus résistants que l'acier, mais en même temps légers. Grâce à ces propriétés, ils peuvent être utilisés comme renfort pour les matériaux composites, par exemple dans la production de pales d'éoliennes, auxquelles ils donnent de la résistance. Les NTC ont également un grand potentiel dans le domaine du stockage de l'énergie, où ils peuvent être utilisés à la place des électrodes en graphite des batteries lithium-ion. Les NTC peuvent être beaucoup plus minces et plus légers, en plus d'être très conducteurs, ils pourraient donc réduire considérablement le poids des batteries, ce qui profiterait grandement, par exemple, aux batteries des voitures électriques.



Nanoparticules d'argent : À première vue, en raison de son prix élevé, l'argent ne semble pas être un matériau approprié pour une utilisation lors de la production ou le stockage d'énergie. Mais, à l'échelle nanométrique, même une petite quantité de matériau peut signifier beaucoup ! Les nanoparticules d'argent appelées AgNP sont très conductrices d'électricité. La conductivité électrique de l'argent est

de $6,30 \times 10^7$ m/ohm, tandis que dans le cas du cuivre elle est de $5,96 \times 10^7$ m/ohm. L'argent est donc un meilleur conducteur. Cela le rend idéal pour une utilisation dans l'électronique imprimée, où il peut être ajouté à l'encre pour créer des joints conducteurs. L'utilisation d'une encre avec une teneur en AgNP est également envisagée dans la production de panneaux solaires, où la possibilité de les produire par impression au lieu de la photolithographie traditionnelle accélérerait et réduirait l'ensemble du processus.

Les nanotechnologies dans l'industrie automobile

À certaines fins, comme dans le transport, l'énergie doit être stockée pour être utilisée à un certain moment. Les voitures utilisent donc du carburant sous forme d'essence ou de diesel, à partir desquels l'énergie est libérée par leur combustion ultérieure pour la propulsion des voitures et des camions. Et le stockage de l'énergie dans les voitures est notamment l'un des domaines où l'on parle des nanotechnologies comme d'une technologie révolutionnaire, qui apportera d'énormes avantages à nous tous. En plus d'un stockage d'énergie plus efficace, il est très logique de l'utiliser plus efficacement et de réduire ainsi les pertes d'énergie. Et c'est un autre domaine où les nanotechnologies peuvent avoir un impact important.

Les nanotechnologies dans les batteries des véhicules électriques

Nous connaissons tous les batteries de nombreux produits que nous utilisons couramment, des téléphones portables aux voitures. Partout où l'énergie électrique est nécessaire, nous trouvons des batteries. Les batteries viennent à l'esprit de pratiquement chaque personne lorsque nous mentionnons le stockage de l'énergie, nous les trouvons dans de nombreuses formes et tailles différentes et nous les utilisons à de nombreuses fins différentes.

Les voitures particulières représentent environ 12 % de toutes les émissions de dioxyde de carbone dans l'UE, de sorte qu'une interdiction de la vente de voitures neuves avec propulsion à combustibles fossiles entrera en vigueur en 2035. Le but est de soutenir la transition vers des systèmes de propulsion sans émissions, ce qui signifie la nécessité d'une transition rapide vers des sources alternatives d'énergie pour le transport, et donc la croissance inévitable du nombre d'automobiles avec une propulsion par batterie électrique. Les batteries d'automobile devront être performantes et légères. Et ce sont justement les nanotechnologies qui peuvent fournir des matériaux capables de bien stocker l'énergie et d'un faible poids.



Les nanotechnologies ont plusieurs façons d'utilisation dans une batterie. L'augmentation de la quantité d'énergie qu'une batterie accepte et la réduction du temps de charge peuvent être atteintes par la couverture de la surface des électrodes par des nanoparticules, ce qui augmente l'aire superficielle de l'électrode, plus de courant pouvant s'écouler entre l'électrode et les produits chimiques dans la batterie. Il est éventuellement possible de remplacer les électrodes au graphite actuelles dans les batteries lithium-ion par des NTC, qui arrivent à doubler la capacité.

De nombreux projets de recherche en cours dans le milieu universitaire et dans l'industrie sont orientés vers les nouvelles technologies d'accumulateurs. Un obstacle empêchant la diffusion massive dans les automobiles est le prix de la production des nanomatériaux en grande quantité. La résolution de cet enjeu aidera à rendre accessibles ces technologies pour les véhicules électriques de nouvelle génération.

Allègement des automobiles à l'aide des nanotechnologies

Il peut sembler que l'allègement des automobiles n'a rien à voir avec l'énergie. Mais si un véhicule est plus léger, moins d'énergie sera nécessaire pour sa propulsion. L'allègement des véhicules avec propulsion à combustibles fossiles aidera à diminuer la quantité de combustible brûlé et donc d'émissions produites de CO₂. L'allègement des véhicules électriques aidera à miniaturiser les batteries nécessaires à leur propulsion, ce qui entraînera un prix de production et de vente moindre. Mais alléger un véhicule ne signifie pas que l'utilisation du matériau le plus léger disponible, sinon nous roulerions tous dans des voitures en papier ! Nous devons aussi penser à la sécurité et utiliser des matériaux légers et solides en même temps.

Les nanomatériaux offrent plusieurs possibilités d'allègement de la carrosserie des voitures. Les nanocomposites garantissent une économie de poids et offrent un ratio poids/solidité très avantageux. On peut déjà produire maintenant des nanocomposites polymères utilisant un nano-remplissant, par exemple de l'argile nano ou des NTC à matrice polymère. En ajoutant des nanomatériaux, la résistance du polymère augmente, mais le poids ne grandit pas comme pour les remplissants polymères traditionnels. Il sera probablement possible d'utiliser également des nanomatériaux rajoutant une nouvelle fonction, par exemple la conductivité électrique, ce qui permettra de remplacer pour les voitures de l'avenir le câblage électrique. L'utilisation de nanomatériaux pourrait économiser jusqu'à 20 % du poids et, dans certains cas, même plus et, par conséquent, de réduire la quantité d'énergie nécessaire à la propulsion d'une voiture.

Définition
Nanocomposite Matériau dans la composition duquel se trouvent, à côté de matériaux standards, également des nanomatériaux. Les os du corps humain font partie de ces matériaux dans la nature. Les exemples de nanocomposites artificiels incluent les nanocomposites polymères, qui sont des plastiques avec un mélange de nanomatériaux élargissant leur fonctionnalité – par exemple ils augmentent la solidité du matériau dans lequel ils sont rajoutés.

Amélioration de la marche des moteurs

Environ 10-15 % du combustible consommé par les moteurs sont utilisés pour surmonter le frottement entre les parties bougeant entre elles. Un frottement naît dans les moteurs actuels à combustibles fossiles, par exemple lors du mouvement d'un piston vis-à-vis de la paroi d'un cylindre, mais sera aussi un problème pour les véhicules électriques, car ceux-ci ont aussi, par exemple, un arbre de commande. Les pertes d'énergie causées par le frottement peuvent être réduites en utilisant des nanotechnologies, qui aideront à diminuer l'impact du frottement, améliorant ainsi l'efficacité énergétique du véhicule.

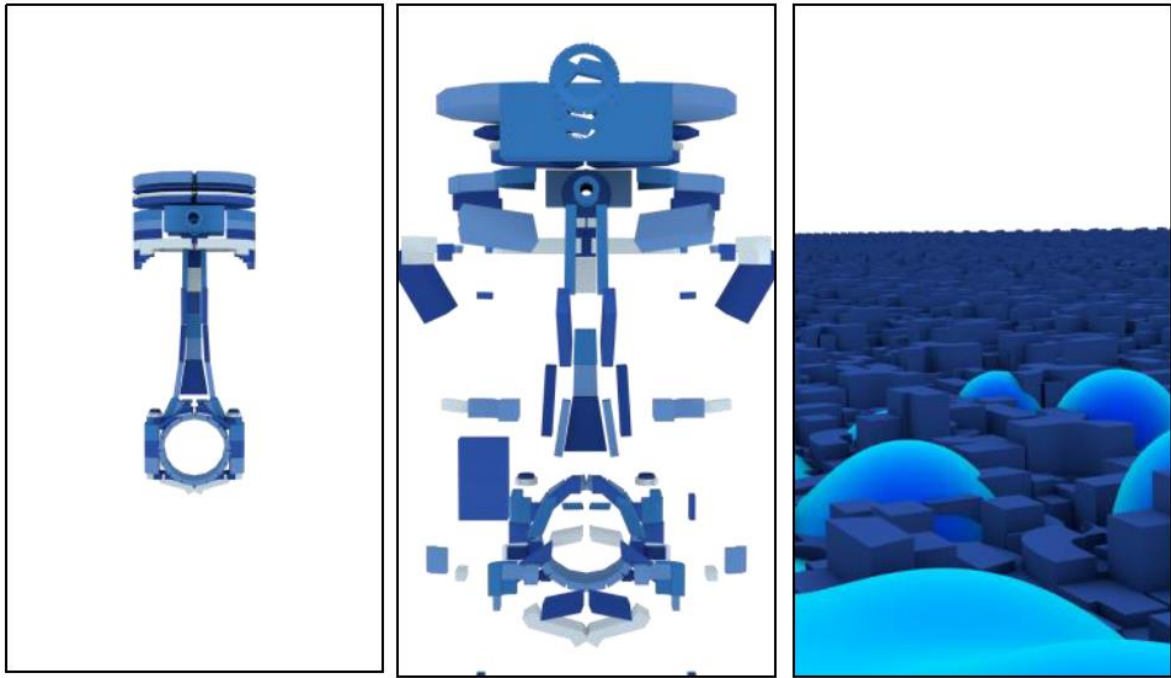


Le nano-traitement de surface des pistons et des cylindres peut diminuer le frottement naissant lors du mouvement du piston. Un traitement de surface nanocristallique avec utilisation de nanomatériaux sous forme de carbure de fer et de borure d'une taille de 60-130 nm crée une surface exceptionnellement dure à faible valeur de frottement. Ce traitement tribologique est envisagé par de nombreux fabricants d'automobiles pour améliorer la gestion des carburants.

Définition

Tribologie

La tribologie étudie le contact entre les surfaces et l'interaction des surfaces bougeant entre elles. Elle observe les effets du frottement, de la lubrification et de l'usure sur ces surfaces. La connaissance de la tribologie est très importante en lien avec de nombreux systèmes mécaniques où les composantes frottent entre elles.



Le nano-traitement de surface d'un piston montre l'interaction de la surface avec un lubrifiant (pris dans l'animation du projet SeeingNano <https://www.youtube.com/watch?v=9uwGSv7oN8w> partagée sur la base d'une licence Creative Commons)

1. Ancrage des connaissances

Résumé

Nous avons brièvement regardé de nombreux exemples d'utilisation des nanotechnologies dans l'énergétique. Nous avons appris que les nanotechnologies trouvent une application dans toute la chaîne énergétique, de la production d'énergie en passant par son stockage, jusqu'à l'utilisation effective. L'abandon des combustibles fossiles est nécessaire pour atténuer l'impact du changement climatique, tout comme parce que les réserves de ces sources d'énergie ne sont pas infinies. Le passage à des sources d'énergie renouvelables signifie qu'en tant que société nous aurons besoin de nouvelles technologies nous permettant d'utiliser ces sources plus efficacement. Par exemple le vent et le soleil ne sont pas constants et dépendent fortement du temps en tant que sources d'énergie. Nous devons donc trouver de nouveaux modes de stockage de l'énergie pour une utilisation ultérieure tant dans les foyers que dans les moyens de transport.

De nombreux nanomatériaux peuvent être utilisés dans l'énergétique. Nous avons présenté trois d'entre eux – graphène, nanotube de carbone et nanoparticules d'argent. Les nanomatériaux ont des propriétés fonctionnelles avantageuses, par exemple solidité, conductivité électrique et faible poids. Nous avons aussi regardé le transport et avons constaté que les nanotechnologies y ont aussi de larges possibilités d'applications. Nous pouvons les utiliser pour le stockage de l'énergie dans les batteries des voitures électriques. Elles peuvent aussi contribuer à un allègement des automobiles, pour la propulsion desquelles il faut alors moins d'énergie. Et, pour finir, elles peuvent accroître l'efficacité des voitures grâce à une réduction du frottement naissant entre les parties mouvantes des moteurs.

Mais nous sommes loin d'avoir vu toutes les possibilités d'utilisation des nanotechnologies et n'avons pas présenté tous les exemples actuellement disponibles sur le marché. Il reste encore un long chemin pour la connaissance des vastes applications des nanotechnologies dans le secteur de l'énergie. Les nanotechnologies ne sont pas le seul mode d'utilisation des technologies dans la lutte contre le changement climatique et dans la transition entre les combustibles fossiles et les sources renouvelables d'énergie. Mais la gamme des nanotechnologies est très large et elles ont à coup sûr leur importance dans toute la chaîne énergétique.