



# Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement



# Applications

## actuelles et envisagées

L'eau	26
La santé	28
L'alimentation et l'agriculture	31
Les produits d'usage courant	34
L'électronique et les technologies de l'information	38
L'énergie	41
La bioréhabilitation et la réduction des pollutions	44
La défense nationale et la sécurité intérieure	46
Conclusion	49









# Applications

actuelles et envisagées

27

hydrocarbures) et certains **xénobiotiques** contenus dans l'eau polluée de régions industrielles ou agricoles.



**Nanopoudre de  $\text{SiO}_2$  utilisée dans les processus de dépollution**

Certaines nanopoudres, très réactives, comme la nanopoudre de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), sont utilisées dans les processus de dépollution.

Enfin, à la croisée entre dépollution et fourniture d'eau potable, des expérimentations utilisant des nanoparticules d'oxyde de fer pour absorber l'arsenic naturellement contenu dans l'eau de certaines régions tropicales comme le Bangladesh sont en cours.

Toutefois, l'utilisation et la généralisation de procédés de dépollution ou de filtration intégrant des nanotechnologies supposent une bonne compréhension préalable du comportement des nanoparticules dans l'environnement afin de s'assurer qu'elles ne sont pas, elles-mêmes, sources d'effets non maîtrisés qu'il faudra traiter par la suite. Ce phénomène de relargage est détaillé pages 52 à 63 et pages 103 à 109.

## DÉFINITION

Un **xénobiotique** est une molécule chimique fabriquée par l'homme et que les êtres vivants ne produisent pas eux-mêmes. Les xénobiotiques (comme les composés chlorés et nitrés) sont en général très toxiques et persistent dans l'environnement.

Des membranes céramiques nanoporeuses sont déjà utilisées pour assurer un meilleur filtrage dans la fourniture d'eau potable.  
Des nanoparticules sont à l'étude pour la dépollution des eaux des nappes phréatiques.





tion s'inscrit dans une politique de santé publique et s'accompagne d'une stratégie thérapeutique accessible et efficace, le tout à un coût acceptable.

Les tests de grossesse constituent aujourd'hui le premier marché pour les nanotechnologies en santé : leurs nanoparticules d'or permettent d'attraper les molécules de l'hormone de grossesse et de les fixer en quelques minutes seulement sur la bandelette test.

## Thérapie : mieux cibler et réduire les effets secondaires

Les formes traditionnelles d'administration des médicaments ne sont plus adaptées aux nouvelles molécules à fort potentiel thérapeutique qui nécessitent d'être acheminées vers le site de leur action (une tumeur, par exemple), au niveau des tissus ou des cellu-

les. C'est pourquoi le développement de la **vectorisation** de médicaments, c'est-à-dire leur acheminement par des véhicules tels que les **protéines** ou les **liposomes**, est un enjeu majeur. Les nanotechnologies sont appelées à y jouer un rôle important, en protégeant la molécule et en contrôlant sa libération.

Aujourd'hui déjà, il est possible d'améliorer la solubilité de certains médicaments et leur capacité à cibler plus spécifiquement les cellules malades en les encapsulant dans des structures creuses nanométriques. Ce principe a été appliqué avec succès dans plusieurs approches thérapeutiques, dans le traitement du cancer en particulier.

Une *start-up* française a, par exemple, associé dans un médicament prescrit dans certains cancers du sein chimiorésistants,

### EXPLICATION

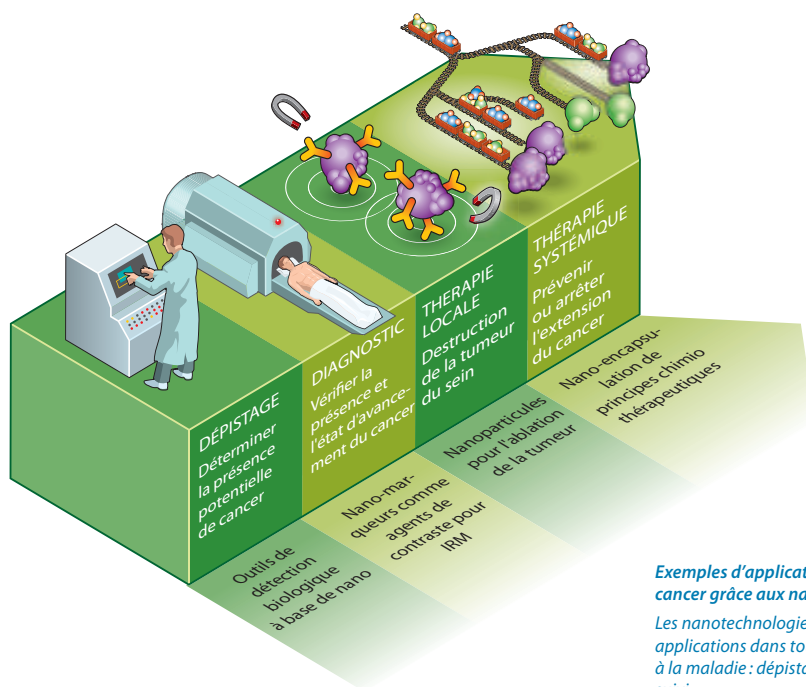
**La vectorisation** est l'une des stratégies d'acheminement de substances actives dans l'organisme. L'objectif : utiliser des nanovecteurs qui concentrent des molécules médicamenteuses ou des suppléments vitaminiques et peuvent atteindre spécifiquement des cellules ou organes cibles. Pour cela, des travaux sont menés sur la façon de les intégrer à des aliments dont le goût et la texture demeurent attrayants pour le consommateur, mais aussi sur les moyens de protéger les substances actives lors de leur transport vers les cibles et de permettre leur diffusion (relargage) et leur action dans l'organisme au bon moment.

### DÉFINITION

**Protéines**  
Molécules constituées de longues chaînes d'acides aminés (les éléments de base), elles sont présentes dans tous les organismes vivants et les virus. Elles jouent un rôle primordial (construction et réparation de l'organisme, notamment). On les retrouve sous différentes formes : enzymes, hormones, récepteurs, neurotransmetteurs...

### DÉFINITION

**Liposome**  
Vésicule artificielle, imitant l'enveloppe de la cellule vivante. Elle possède la capacité d'encapsuler et de protéger, par exemple, des protéines ou du matériel génétique. Cette propriété fait que les liposomes sont utilisés comme vecteurs ou transporteurs en pharmacologie et en génétique.



### Exemples d'applications dans le traitement du cancer grâce aux nanotechnologies

Les nanotechnologies peuvent trouver des applications dans toutes les phases du cycle lié à la maladie : dépistage, diagnostic, traitement, suivi.







# Applications

actuelles et envisagées



## L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Au-delà de la simple satisfaction d'un besoin vital qui assure la santé et la survie, l'acte de se nourrir, au travers des rites alimentaires, relève de l'identité culturelle et sociale. Il ouvre aussi sur des sujets comme la qualité des éléments ingérés et leur parcours au plus profond de l'organisme, les modes de consommation alimentaire, l'équilibre biologique et la relation entre l'homme et la nature. L'émergence des nanotechnologies dans le domaine de l'agriculture et de l'alimentation questionne donc notre rapport à la nourriture.

La question des nanosciences et nanomatériaux a des interfaces diverses avec l'alimentation et l'agriculture, qui constitue le substrat initial de la production alimentaire.

Les nanomatériaux peuvent intervenir dans l'aliment lui-même par ajout, en tant qu'ingrédients dont les diverses propriétés seront évoquées ci-après, ou à l'extérieur de l'aliment, dans des éléments qui ont pour objet d'accroître le contrôle et la sécurité sanitaire de l'aliment (matériels de stockage, matériaux d'emballage).

Quant aux applications au domaine agricole, elles ont trait tant à la protection végétale qu'à la santé et à l'alimentation animale (médicaments vétérinaires, produits phytosanitaires...).

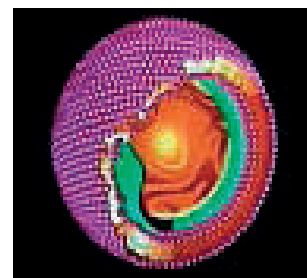
Enfin, l'agriculture est particulièrement concernée par les questions liées au cycle de vie et au devenir final des nanomatériaux manufacturés. Il s'agit d'un enjeu important pour les pratiques agricoles, la présence résiduelle de nanomatériaux dans l'environnement pouvant potentiellement s'accompagner d'une pollution des produits agricoles à visée alimentaire.

## Les premières applications dans les aliments

Les premières applications qui apparaissent sur le marché européen et mondial concernent essentiellement les compléments alimentaires (vitamines ou oméga 3 nanoencapsulés, par exemple) ou les aliments fonctionnels. Ces aliments contiennent des composés biologiquement actifs présentés comme améliorant la santé ou réduisant le risque de maladies (comme l'huile de colza enrichie aux phytostérols nanoencapsulés commercialisée avec l'allégation d'une réduction optimisée du taux de cholestérol).

L'utilisation des nanotechnologies vise à obtenir une dispersion dans l'eau de substances insolubles, à protéger de façon ciblée des molécules sensibles dans les procédés de transformation ou à libérer des composés intervenant dans la **flaveur** ou la formation de couleurs.

Une autre application intervient dans les aliments courants : la silice est utilisée sous forme nano comme additif antiagglomérant. Cet additif est autorisé et employé depuis



### Encapsulation d'une molécule active dans une molécule d'enrobage

Certaines applications alimentaires, en particulier dans le domaine des produits qui combinent aliments et médicaments (alicaments) peuvent tirer parti de la technique d'encapsulation.

### DÉFINITION

#### Flaveur

La flaveur correspond à l'ensemble des sensations perçues lors du flairage ou de la mise en bouche de l'aliment.

Si les nanotechnologies sont peu utilisées dans ce secteur, les pratiques agricoles ne doivent pas ignorer les questions liées au cycle de vie et au devenir final des nanomatériaux manufacturés dont la présence dans l'environnement peut atteindre des produits à visée alimentaire.















# Applications

actuelles et envisagées

35

(**dioxyde de titane**, de cérium ou de zinc) ont la particularité de filtrer les UV et de ne presque pas diffuser la lumière visible.

De plus, en séchant, certaines s'agglomèrent pour former une structure en réseau qui augmente la tenue de la crème sur la peau lors de l'exposition à l'eau.

Des fonds de teint utilisent également des pigments (tels que le dioxyde de titane dopé au fer) qui présentent un noircissement réversible selon la longueur d'onde et l'intensité de la lumière. Ainsi, le produit adapte sa couleur à l'intensité des UV et le maquillage reste identique sous une lumière naturelle ou artificielle.

D'autres produits, comme les crèmes anti-âge, ont aussi été développés sur la base des propriétés de certaines nanoparticules : les particules d'oxyde de silicium et de zinc captent des enzymes qui dessèchent la peau. Dans le domaine de l'hygiène dentaire, le silice nanoparticulaire est utilisé dans certains dentifrices.

Le nouveau règlement européen relatif aux produits cosmétiques prévoit des dispositions particulières pour les nanomatériaux (lire le détail de la réglementation page 111).

## Des peintures et vernis résistants à l'abrasion et à la corrosion

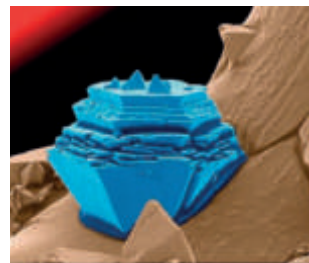
Certaines nanoparticules, intégrées comme additifs dans les peintures et revêtements, accroissent la résistance à l'abrasion ou aux rayures et augmentent la protection contre les UV et la corrosion. Un liant constitué de particules de **polymères** incluant des nanoparticules de titane entre par exemple dans la composition de certains revêtements de façade anti-âge. Elles leur confèrent une double propriété : ils ne ramollissent pas sous le soleil de l'été et échappent à l'encrassement au contact de la pollution ; à la surface de la façade, une organisation des molécules la rend autonettoyante sous l'action de la pluie.

Des nanoparticules d'oxyde de cérium peuvent également être utilisées dans des vernis pour protéger du vieillissement les façades en bois, tout comme des nanoparticules à base d'oxyde de zinc pour augmenter la protection contre les UV.

Dans le secteur automobile, où la longévité des peintures est un enjeu important, un

### EXPLICATION

Le **dioxyde de titane** ( $TiO_2$ ) est une molécule connue des scientifiques pour accélérer de nombreuses réactions chimiques, notamment celles faisant intervenir des particules organiques (poussières, particules des pots d'échappement, salissures). Le dioxyde de titane est aussi utilisé dans les crèmes solaires car il possède la propriété d'arrêter les rayons ultraviolets provoquant les coups de soleil et le bronzage.



### Nanocrystal d'oxyde de zinc intégré à une crème solaire

Les nanocristaux d'oxyde de zinc, comme celui-ci, sont intégrés dans des crèmes solaires : ils filtrent les UV et ne diffusent presque pas la lumière visible, ce qui permet de produire une crème transparente et évite le blanchissement après son application.

### DÉFINITION

Les **polymères** sont les molécules de base utilisées dans la fabrication du plastique. Ils sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils peuvent être classés d'après leurs propriétés thermomécaniques : thermoplastiques, qui deviennent malléables une fois chauffés ; thermodurcissables, qui durcissent sous l'action de la chaleur ou par ajout d'un additif ; élastomères, qui sont déformables de manière réversible. Le terme désigne des matières abondantes et variées, des protéines les plus ténues aux fibres de kevlar haute résistance. Certains polymères sont utilisés en solution, comme dans les shampoings, d'autres forment des matériaux solides, comme ceux utilisés par l'industrie automobile, par exemple.



La nanoélectronique peut associer une grande puissance de calcul à une baisse de consommation des circuits, ce qui ouvre la voie à des concepts nouveaux d'utilisation du téléphone, au service des futures évolutions d'internet (internet des objets).







# Applications

## actuelles et envisagées

37

### Des matériaux de structure aux propriétés accrues

Dans l'industrie automobile, de nombreux nanomatériaux sont utilisés en vue de réduire le poids des véhicules de 20 à 50 % et d'abaisser la consommation de carburant. L'ensemble des matériaux qui remplacent progressivement l'acier et les métaux, comme les polymères, peuvent être renforcés par des nanomatériaux. Cet ajout permet également d'augmenter la résistance des pièces automobiles aux rayures.

Dans les aciers, la nanostructuration se traduit par une augmentation de la résistance mécanique, notamment de la résistance à l'usure des outils de coupe, dont la durée de vie augmente. Les crampons des alpinistes sont par exemple couramment équipés de pointes en **acier nanostructuré** qui assurent une meilleure pénétration dans la glace.



*Des nanotubes de carbone améliorent les performances de certains aciers : meilleure résistance mécanique et à l'usure pour les outils de coupe, plus grande pénétration dans la glace pour la pointe des crampons d'alpinistes.*

Plus généralement, le gain de résistance mécanique est utile pour les **matériaux dits de structure**. Il entraîne une diminution des épaisseurs à performance identique. Il en résulte un allègement du poids qui constitue un critère déterminant dans certains secteurs d'application comme l'aéronautique.

Pour des applications comme les turbines à gaz (production électrique ou application aéronautique), la présence de particules d'oxydes nanométriques permet à l'acier de conserver une résistance mécanique même à très haute température (environ 1 000 °C pour certains aciers).

Enfin, certains bétons tirent déjà des avantages des nanomatériaux lors de leur fabrication. L'introduction de fumée de silice augmente leur fluidité et améliore leurs propriétés mécaniques. Des aérogels de silice renforcent leur pouvoir d'isolation thermique et des nanoparticules de dioxyde de titane les rendent autonettoyants : elles provoquent, sous l'action des rayons UV de la lumière du soleil, la décomposition des dépôts organiques responsables de la salissure des bâtiments.

#### EXPLICATION

##### Aciers nanostructurés

*On distingue les aciers renforcés par des particules de taille nanométrique (par exemple par des oxydes) et les aciers présentant une structure intrinsèque de taille nanométrique dans la masse.*

#### EXPLICATION

##### Matériaux de structure

*Matériaux garantissant l'intégrité de la structure aux différents efforts mécaniques comme le poids, les forces centrifuges, la poussée du vent... Le béton, l'acier et le bois utilisés dans les charpentes sont des matériaux de structure.*



*L'église du Jubilé à Rome (photo), comme la cité des Beaux-Arts de Chambéry, sont des exemples d'utilisation d'un béton non salissant intégrant des nanoparticules de dioxyde de titane.*







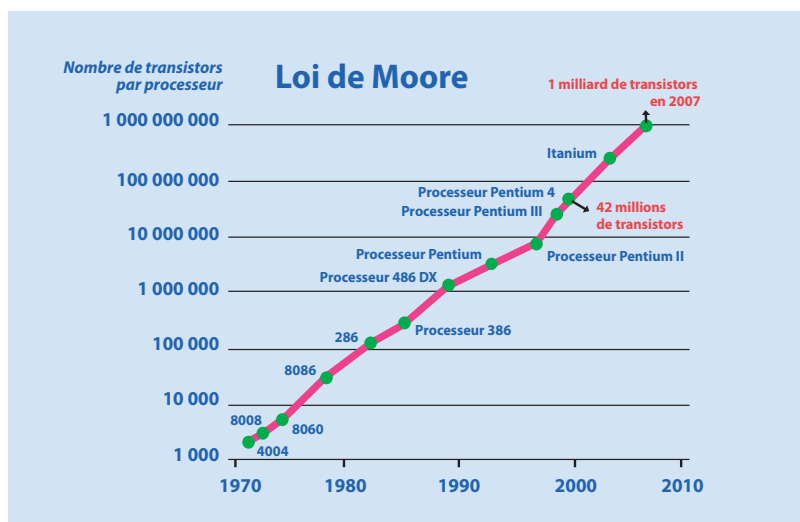


# Applications

## actuelles et envisagées



39



## La révolution de la magnétorésistance géante (GMR)

En 1957, la capacité des premiers disques n'était que de 5 mégaoctets ; aujourd'hui, elle avoisine le **téraoctet** (un million de fois plus importante). Ces performances n'auraient jamais été atteintes sans l'effet de magnétorésistance géante (GMR). Cette découverte a ouvert un nouveau champ scientifique : la **spintronique**. Son impact dans la technologie de l'information est déjà considérable. Les capacités de stockage et de rapidité de lecture des disques durs ont été modifiées très significativement : la densité d'informations est augmentée d'un facteur 100 et l'efficacité énergétique accrue.

L'émergence de la GMR, et sa forme plus achevée et quantique, la TMR (Tunnel Magnéto-Résistance), ont permis le développement de dispositifs de très petite taille, aujourd'hui utilisés couramment, comme les mémoires Flash et les lecteurs MP3.

### La loi empirique de Moore

En 1965, Gordon Moore, ingénieur et cofondateur d'Intel, constate que la complexité des semi-conducteurs proposés dans les ordinateurs d'entrée de gamme double tous les ans, à coût constant depuis 1959, date de leur invention.

En 1975, il estime que, grâce au progrès de la photolithographie, le nombre de transistors des microprocesseurs sur une puce de silicium a de fortes chances de doubler tous les deux ans. Cette prédiction s'est révélée jusqu'à présent exacte.

Entre 1971 et 2001, la densité des transistors a doublé tous les 18 mois et les ordinateurs sont de plus en plus puissants. En 1965, le circuit le plus performant comportait 64 transistors. En 2007, ce chiffre a atteint le milliard.



Albert Fert et Peter Grünberg, deux figures incontournables de la nanoélectronique, récompensés en 2007 par le prix Nobel de physique pour leur découverte de la magnétorésistance géante (Giant Magneto-Résistance - GMR) en 1988.

### DÉFINITION

#### Téraoctet

Un Téraoctet (To en français, TB pour terabyte en anglais) est égal à mille milliards d'octets, soit un billion (attention, à ne pas confondre avec le terme anglais billion qui, lui, correspond à notre milliard).

### REPÈRES

#### La spintronique

La magnétorésistance géante (Giant Magneto-Résistance, GMR) est une découverte majeure d'Albert Fert (université de Paris sud - Orsay) et de Peter Grünberg (centre de recherche de Jülich en Allemagne) en 1988. Elle leur a valu de recevoir le prix Nobel de physique en 2007 et a ouvert le champ de la spintronique.

La magnétorésistance géante est un effet quantique observé dans les structures de films d'épaisseurs nanométriques, composées d'une alternance de couches ferromagnétiques et de couches non magnétiques.

En appliquant un champ magnétique externe, on peut changer la polarisation du spin des électrons (le sens de rotation des électrons sur eux-mêmes) et coder ainsi l'information. La précision de cette opération autorise une densité de stockage très importante.









# Applications

## actuelles et envisagées

41

## L'ÉNERGIE

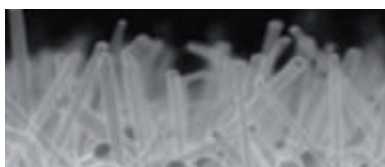
Le développement durable est **un enjeu du XXI<sup>e</sup> siècle** : comment assurer le développement économique répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ? Pour y parvenir, il faut pouvoir notamment accroître l'efficacité énergétique de la société et assurer une production d'énergie moins dépendante des ressources fossiles, moins polluante et qui mette à profit des ressources renouvelables.

Cela passe notamment par la réduction de la consommation des logements, des véhicules, des appareils électriques et le déploiement d'un bouquet diversifié axé sur des énergies durables (renouvelables, partiellement recyclables ou consommant le moins possible de ressources).

Les nanotechnologies figurent parmi les solutions envisagées aujourd'hui dans de nombreux secteurs économiques, en particulier ceux des transports et du bâtiment, et dans le développement de systèmes de production, de conversion et de stockage d'énergie qui permettent à notre société de relever ces défis.

### Réduire l'énergie consommée dans le bâtiment et les transports

La maison à énergie positive de demain respectera les demandes de ses occupants (confort, loisir, bien-être) tout en optimisant la consommation et la production d'énergie. Dans cette vision, les nanotechnologies amènent des innovations majeures. On peut en effet envisager une alimentation en énergie solaire efficace, en améliorant le rendement des panneaux **photovoltaïques**, tout en réduisant l'effet sur l'environnement et en diminuant les coûts.



**Des nanofils de silicium dans les futures cellules solaires** Source CEA.

*Beaucoup d'espoirs sont fondés sur les sources d'énergie durables. Or, aujourd'hui, le rendement moyen des cellules photovoltaïques utilisées dans les panneaux solaires courants est de l'ordre de 5 à 10 %. Même dans les procédés très coûteux, réservés à des applications comme celles du secteur aérospatial, leur rendement ne dépasse pas 20 %. Ce faible rendement s'explique par le fait que les cellules, composées de silicium massif, n'absorbent utilement qu'une fraction des rayons lumineux qui composent la lumière.*

*Des chercheurs envisagent de dépasser cette limite et de tirer un meilleur parti de cette source d'énergie renouvelable. Ils s'appuient, pour cela, sur le fait qu'à une échelle de nanostructuration, certains matériaux sont capables d'absorber l'ensemble du spectre solaire. À l'état de nanofils, un matériau comme le silicium absorbe, par exemple, des couleurs différentes du spectre en fonction de son diamètre. Un empilement constitué de nanofils de différents diamètres, dans des arrangements particuliers, pourrait donc absorber la totalité du spectre solaire et permettre un rendement des cellules voltaïques de demain d'au moins 50 %.*

De même, on peut imaginer de gérer l'intermittence de certaines sources d'énergie (solaire, éolienne...) grâce à des systèmes de stockage (batteries) dont les performances et la durée de vie seront augmentées grâce aux nanocomposites lithium. La production locale d'énergie sans connexion au réseau d'électricité pourrait être généralisée par des **piles à combustible** utilisant des nanomatériaux.

L'isolation des bâtiments, quant à elle, pourrait être renforcée par l'utilisation de nanomatériaux ultraporeux ou à changement de phase (qui absorbent l'excès de chaleur dans la journée et la restituent la nuit ou quand il fait froid). Enfin, la nanoélectronique pourrait être sollicitée pour mettre en œuvre le concept d'intelligence ambiante

## REPÈRES

### Un enjeu du XXI<sup>e</sup> siècle

Selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie, la demande d'énergie primaire devrait croître de presque 60 % d'ici à 2030, correspondant, à technologies constantes, à une hausse du même ordre de grandeur des gaz à effet de serre.

Le groupe 1 du Grenelle environnement a rappelé la réalité incontestable du changement climatique et de ses impacts, ainsi que l'épuisement à venir des ressources fossiles.

La France s'est engagée pour la division par quatre de ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050.

Les objectifs fixés par le Conseil européen permettent de mettre en place les étapes intermédiaires à l'horizon 2020 : réduction de 20 % des gaz à effet de serre, baisse de 20 % de la consommation d'énergie, et augmentation jusqu'à 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie globale.

## ILLUSTRATION

### Cellules photovoltaïques

Plusieurs voies de recherches sont en cours d'études pour réduire le coût des cellules photovoltaïques et en augmenter l'efficacité :

- dépôts successifs de couches d'épaisseurs nanométriques ;
- emploi de silicium possédant une structure interne nanostructurée ;
- emploi d'autres minéraux que le silicium, voire des molécules biologiques mimant la photosynthèse des plantes ;
- dopage de cellules de silicium par l'incorporation en très faible concentration d'éléments chimiques (manganèse par exemple).

## DÉFINITION

**Les piles à combustibles** produisent de l'électricité en convertissant de l'hydrogène et de l'oxygène en eau. Inventées au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, leur utilisation reste limitée en raison du coût élevé de leur composants (elles utilisent du platine et d'autres métaux) et de la difficulté à produire de l'hydrogène à des coûts économique et énergétique corrects. Les applications potentielles majeures sont la voiture électrique, les batteries et l'alimentation des objets électriques nomades.







# Applications

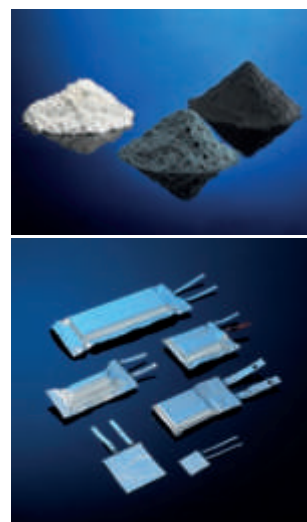
actuelles et envisagées

43

Pour reproduire ces processus, les scientifiques ont recours notamment aux propriétés catalytiques de métaux nobles comme le platine. Mais, les réserves étant limitées, sa rareté et son prix constituent des freins au développement de cette méthode d'ailleurs gourmande en énergie. Une autre solution pourrait sortir des laboratoires. En 2007, des chercheurs sont en effet parvenus à produire de l'hydrogène en utilisant un catalyseur à base de cobalt avec une efficacité supérieure aux systèmes comparables à base de métaux nobles.

Différentes pistes, fondées sur l'utilisation de procédés à base de nanomatériaux, permettent d'imaginer, pour le futur, une réponse aux défis posés par les exigences du développement durable en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle. Elles concourent à dessiner un monde où l'autonomie énergétique serait prépondérante à toutes les échelles : de l'individu à l'État, en passant par les régions et les villes.

*De multiples applications des nanotechnologies devraient dessiner les nouvelles caractéristiques des voitures de demain.*



### Nanopoudres et batteries lithium-ion

Les batteries lithium-ion, déjà utilisées pour les ordinateurs portables et les téléphones mobiles, et des associations de nanopoudres de lithium, de fer et de phosphate permettront de réduire la taille des batteries.

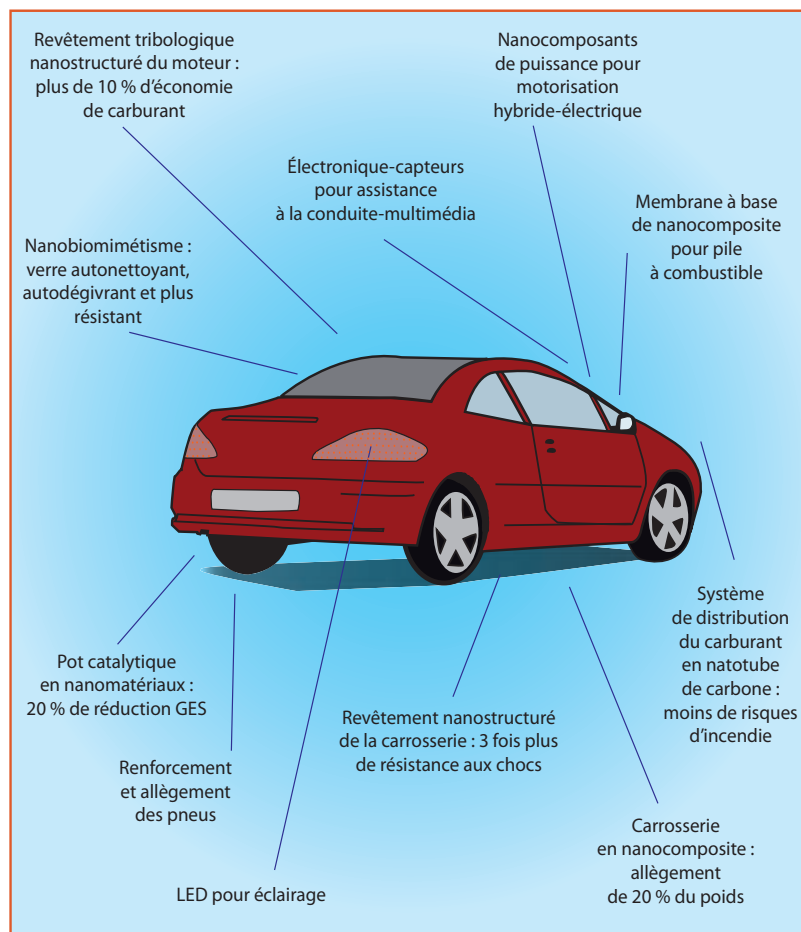
### ILLUSTRATION

Tirer parti de la **biomasse**

L'une des méthodes utilisées pour transformer cette biomasse en biocombustibles avait déjà été employée durant la Seconde Guerre mondiale par les Allemands, pour produire de l'essence et du fioul à partir du charbon et du bois.

Aujourd'hui, la gazéification à haute température (800-1 000 °C), qui permet d'obtenir un gaz de synthèse ensuite transformé par des réactions catalytiques en biocombustibles comme le diesel, est grande consommatrice d'énergie. Il est donc envisagé d'utiliser des nanoparticules qui permettraient d'augmenter la réaction catalytique et donc l'efficacité du procédé.

Une autre voie, plus exploratoire pour l'heure, consisterait à concevoir des nanocomplexes organométalliques comme catalyseurs de photosynthèse artificielle qui, par analogie avec la synthèse chlorophyllienne des végétaux, permettraient la production de biocarburants.









# Applications

## actuelles et envisagées

45

### Limitier la consommation de ressources et la production de déchets

Dans l'industrie, les nanotechnologies peuvent permettre de créer des objets qui rendent davantage de services en utilisant moins de matière première et d'énergie. La miniaturisation constante des appareils électroniques, à laquelle contribue la nanoélectronique, permet une réduction des quantités de matière utilisées (un ordinateur ne pèse plus que quelques kilogrammes et effectue des milliards d'opérations à la seconde alors que son prédécesseur des années quatre-vingt pesait environ dix kilos et était 1 000 fois plus lent).

La réduction de la consommation d'énergie est déjà effective dans bien des objets courants : remplacement des lampes à incandescence par des diodes électroluminescentes beaucoup moins gourmandes en électricité, ou des écrans cathodiques par des systèmes à cristaux liquides, dix fois moins consommateurs... Enfin, le développement de composants nanoélectroniques de faible consommation pour des systèmes de calcul efficaces énergétiquement constitue un enjeu majeur. Toutefois, à ce jour, une autre difficulté demeure malgré ces améliorations : l'absence préjudiciable de prise en considération du cycle de vie des matériaux dans le domaine des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC).



### Améliorer le traitement des pollutions

La décontamination des sols et des eaux est aujourd'hui un domaine en plein essor. Il reste toutefois à en améliorer l'efficacité et à en réduire le coût. Pour la dépollution de l'air, les nanotechnologies font espérer une amélioration des processus de catalyse en sortie de cheminées et des **pots d'échappement**, voire de réacteurs d'avions. De même, elles permettraient de développer des filtres spécifiques à intégrer en sortie de cheminées pour optimiser le filtrage des composés organiques volatils (hydrocarbures) et des substances chlorées.

Le sujet de la dépollution de l'eau est abordé aux pages 26 et 27.

### Une détection et un suivi plus fiables

Les nanotechnologies pourraient enfin permettre le développement de capteurs fiables et bon marché pour détecter et suivre l'évolution de molécules spécifiques ou de micro-organismes.

Seraient concernées des applications comme la détection de particules dangereuses dans les usines (protection des travailleurs) et dans les habitations (produits toxiques émanant des peintures ou d'un nouvel objet, fuites de produits d'entretien...). Mais elles pourraient également servir à la surveillance des écosystèmes. Pourquoi ne pas imaginer, par exemple, de mesurer de façon fine et continue des émissions de gaz produits par les micro-organismes vivant dans un lac afin de suivre l'évolution des populations de bactéries et détecter très tôt une prolifération du type verdissement des eaux ?

*Les cristaux de taille nanométrique (2 à 100 nm) à la base des diodes électroluminescentes (LED) les rendent dix fois plus économes que les ampoules à filament.*

#### DÉFINITION

Les **pots catalytiques** insérés à **l'échappement** des voitures ont pour but de réduire les émissions de certains gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les particules diesel produits lors de la combustion du carburant. Ils sont composés de céramique sur laquelle sont implantés des métaux précieux (platine, rhodium, osmium, palladium) lieux des réactions chimiques avec les gaz d'échappement. Si leur efficacité est avérée, les pots catalytiques actuels présentent des limites : non-élimination du CO<sub>2</sub>, encrassement, inefficacité lors des premiers kilomètres, relargage dans l'environnement de certains métaux ainsi que de particules ultrafines dont certaines, produites non intentionnellement, sont de taille nanométrique. Les nanotechnologies peuvent, en ce domaine, contribuer à une amélioration de la protection de l'environnement, à condition que la recherche et l'innovation permettent de limiter drastiquement le relargage de particules ultrafines par les pots catalytiques.



*De meilleurs pots catalytiques et des filtres à particules nanostructurés devraient contribuer à réduire la pollution de l'air*









# Applications

## actuelles et envisagées

47



La Défense a en outre des besoins beaucoup plus spécifiques que les nanotechnologies satisfont en améliorant de façon significative les performances de certaines fonctions. Citons, par exemple, des technologies déjà en service dans les forces armées ou sur le point de le devenir comme les dispositifs de vision nocturne, les matériaux qui permettent de rendre les avions furtifs aux radars ou encore les matériaux de blindage nanostructurés qui associent rigidité renforcée et légèreté. Comme dans le domaine civil, le potentiel des applications futures des nanotechnologies est extrêmement vaste.

### Vers une meilleure protection du combattant

La protection du combattant est un sujet très large qui couvre de nombreuses technologies. On peut ainsi imaginer, dans un avenir relativement proche, la tenue du combattant avec des textiles faits à partir de matériaux qui ne laissent aucune substance les traverser ou les imprégner, offrant diverses fonctions grâce à l'intégration de capteurs, de systèmes de communications ou de visualisation (écran souple). Et pourquoi pas des armures souples grâce à des matériaux capables de s'épaissir aux chocs ?

De nouveaux concepts utilisant des nano-objets sont à l'étude comme des détecteurs chimiques ou biologiques, qui pourront progressivement devenir individuels, autonomes et peu consommateurs en énergie, communicants, sélectifs et présentant une haute sensibilité en temps réel.

Même si les performances requises en matière de microsources d'énergie diffèrent entre applications civiles et militaires, les nanotechnologies interviendront dans l'élaboration de microbatteries, de micropiles à combustible mais aussi dans l'élaboration de dispositifs

de récupération d'énergie (énergie solaire, mécanique, thermique). Elles devraient également permettre d'envisager des progrès significatifs pour le soutien médical à distance, notamment dans la surveillance des conditions physiologiques du combattant, les contre-mesures préventives, la dispense de premiers soins à distance ou la vectorisation de substances thérapeutiques.

Enfin, d'autres dispositifs de protection à base de nanotechnologies sont en cours d'étude ou de validation, en particulier contre les agressions lasers, pour la sécurisation de la mise à feu des munitions ou pour la détection d'explosifs. Les **technologies térahertz** (THz), envisagées pour la détection d'engins explosifs improvisés, peuvent être aussi considérées comme faisant partie des nanotechnologies dans la mesure où les composants qui y sont développés font intervenir des grandeurs de dimensions nanométriques.

### Des systèmes d'armes plus performants

Les nanomatériaux sont présents dans tous les systèmes d'armes et font l'objet d'une attention particulière pour de nombreuses applications comme le renforcement et l'allègement de structures à taille ou à performances égales, la tenue à haute température y compris en environnement hostile, des capacités de camouflage évoluées et le comportement vis-à-vis des contaminations nucléaires, biologiques et chimiques (NBC). Un certain nombre de matériaux intéressent également les militaires, comme ceux susceptibles de participer à la détection de la contamination ou à la décontamination, les matériaux énergétiques, qu'ils soient pyrotechniques ou propulsifs, ou les matériaux autoréparants et autocicatrisants.

#### DÉFINITION

##### **Technologies térahertz**

Les rayonnements térahertz (ondes électromagnétiques entre 100 GHz et 30 THz) ont un fort pouvoir pénétrant. Ils permettent potentiellement de voir à travers de nombreux matériaux non conducteurs, tels que la peau, les vêtements, le papier, le bois, le carton, les plastiques...

Ils trouvent des applications comme les télécommunications à hauts débits, les réseaux sans fils, des radars, la surveillance de l'environnement, les tests biomédicaux, l'observation astronomique, la sécurité, etc.







# Applications actuelles et envisagées

## 49

## CONCLUSION

Les nanotechnologies représentent un domaine vaste de recherche et de développement qui n'est nullement orienté vers des activités particulières. Elles apparaissent diffuses, comme l'a souligné ce chapitre, et préparent une importante mutation industrielle. L'amélioration des propriétés de la matière à l'échelle nanométrique impacte déjà certains produits industriels et impactera bon nombre de produits futurs.

### L'exemple de la maison de demain

Ce dernier exemple résume les changements que pourrait induire l'application de certaines nanotechnologies à la maison devenue maison à énergie positive. Pour atteindre

les objectifs d'efficacité énergétique, de durabilité et de moindre maintenance des constructions, il faudra innover dans toutes les directions. Des tuiles solaires aux vitres autonettoyantes et aux surfaces antibactériennes, en passant par des matériaux superisolants ultrafins, les nanotechnologies pourraient à terme s'insérer dans tous les produits de construction.

La maison du futur sera une maison à énergie positive à double titre. Elle sera productrice d'énergie (solaire, biomasse, éolien) pour ses besoins propres et même au-delà, notamment pour la recharge des batteries des moyens de transport (véhicule électrique) et elle sera moins consommatrice en énergie grâce à une isolation thermique poussée et amortissant les cycles thermiques (nanomatériaux à changement de phase), à des systèmes d'éclairage basse consom-

mation (diodes électroluminescentes) et à une gestion intelligente et optimisée des ressources (réseaux de nanocapteurs et nanoactionneurs).

La maison de demain gagnera également en facilité d'entretien (vitres autonettoyantes, peinture résistante aux UV et aux intempéries, surfaces antibactériennes dans les cuisines et salles de bain...) et, grâce aux technologies multimédias basées sur la nanoélectronique, elle deviendra communicante et intelligente pour le confort ambiant des occupants, les tâches ménagères, les loisirs, le télétravail, l'aide au maintien à domicile...

*La maison à énergie positive  
Vers un habitat plus économe  
grâce à l'intégration ciblée de  
nanotechnologies ?*

