

# Chimie et maîtrise de la lumière

Thierry Herning a mené une carrière internationale chez BASF en Allemagne, au Japon, en Chine, puis en France, où il est actuellement président de BASF France<sup>1</sup> (**Encart : « BASF, la chimie pour un avenir durable »**).

## BASF, LA CHIMIE POUR UN AVENIR DURABLE

Les activités de BASF se résument dans la signature de l'entreprise : « Nous créons de la chimie pour un avenir durable ». La chimie de façon générale étant présente partout dans nos vies, BASF est fournisseur de la plupart des grandes industries, telles que l'automobile, le transport, le bâtiment, la cosmétique, l'électronique, ou encore l'agriculture (**Figure 1**).



**Figure 1**

Les activités de BASF.

BASF sert au quotidien plus de 90 000 clients avec 22 000 produits et solutions. Pour une entreprise comme BASF qui comporte 117 000 collaborateurs dans le monde,

1. [www.basf.com/fr/fr.html](http://www.basf.com/fr/fr.html)

l'innovation est capitale. C'est la raison pour laquelle chaque année BASF dépense 2 milliards d'euros dans la Recherche et Développement et compte 10 000 collaborateurs dans ses laboratoires répartis dans le monde entier (**Figure 2**).



**Figure 2**

Répartition des différents sites de BASF dans le monde.

**Figure 3**

A) Structure du principe actif DN-Age<sup>®</sup>, provenant de l'extraction de la feuille de *Cassia alata* : le *Kaempferol-3-O-sophoroside* (K3OS) ; B) propriétés de réparation et de protection de K3OS.

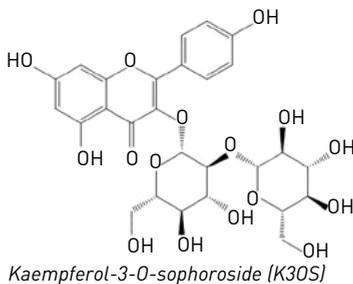
A



*Cassia alata*

1 Extraction

2 Concentration



La lumière, comme la chimie, est elle aussi partout ; il n'est donc pas étonnant que BASF s'efforce d'exploiter cette combinaison. Ce chapitre présente

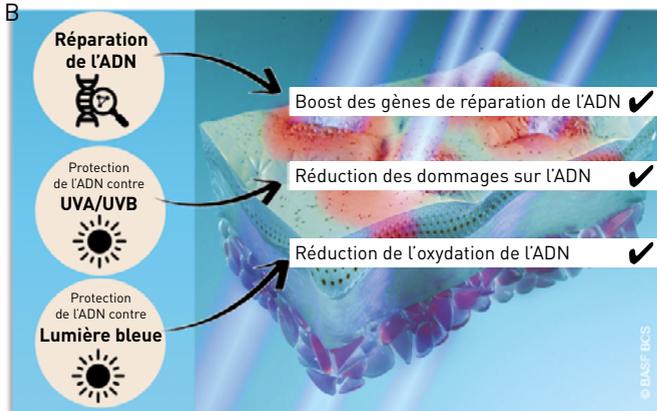
des exemples d'applications montrant comment la lumière et la chimie peuvent se combiner pour répondre aux besoins de notre société.

## ↑ Protéger la santé de la lumière

### 1.1. Protéger la peau

Les rayonnements UV et la lumière bleue peuvent causer de gros dégâts pour la santé. Dans ce domaine, BASF fabrique un principe actif cosmétique appelé DN-Age<sup>®</sup>, obtenu par extraction végétale de la plante *Cassia alata*. Cette extraction conduit à une molécule, K3OS (**Figure 3**), qui, formulée dans une crème cosmétique et appliquée sur la peau, permet de protéger les cellules contre les agressions des UV-A et des UV-B. Elle réduit les dommages de l'ADN au travers de principes antioxydants et de capture des

B



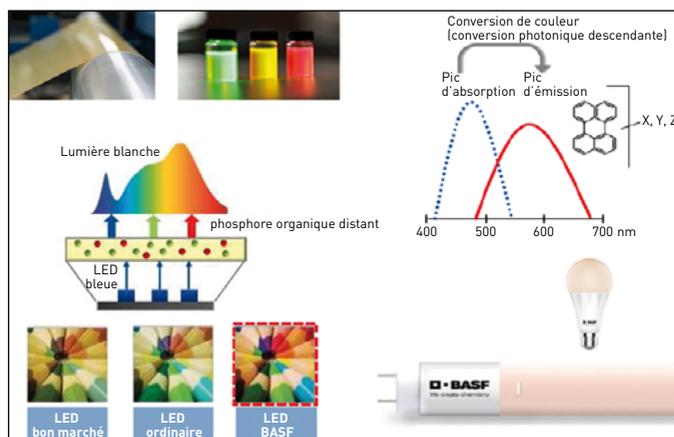


Figure 4

Transformation de la lumière bleue issue des LED en lumière blanche par un film de polymère BASF.

radicaux libres<sup>2</sup> qui pourraient être générés par l'interaction entre la lumière solaire et l'ADN. Cette molécule contribue à promouvoir le processus naturel de réparation de l'ADN des cellules de la peau.

## 1.2. Protéger les yeux

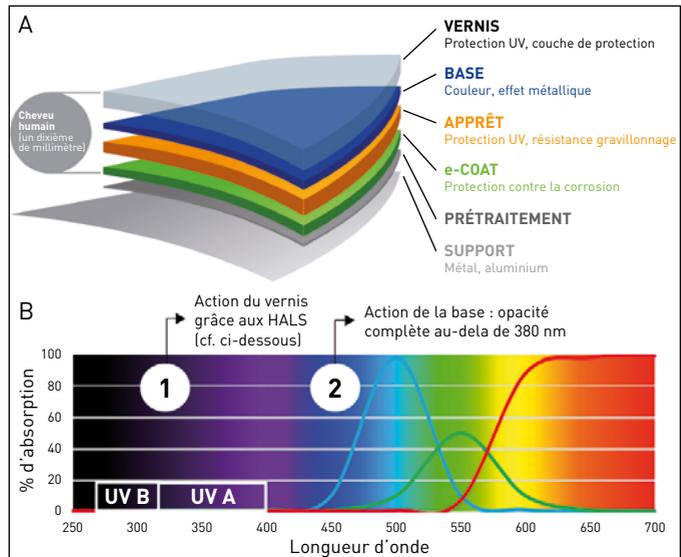
La lumière bleue qui est émise par les appareils électriques comme les Smartphones, les tablettes, les ordinateurs, est toxique pour les yeux et peut notamment créer des lésions au niveau de la rétine et du cristallin ; elle peut également entraîner des troubles du sommeil en altérant la production de la mélatonine, une hormone indispensable à l'endormissement (voir aussi le [Chapitre de M.-P. Felder-Schmittbuhl](#) dans cet ouvrage *Chimie et lumière*, EDP Sciences, 2021).

2. Radicaux libres : espèces possédant un électron non apparié sur leur couche externe, ce qui en fait des espèces très réactives. On peut citer les radicaux oxygénés, dits espèces réactives de l'oxygène, « *reactive oxygen species* » (ROS) en anglais, telles que l'anion superoxyde  $O_2^{\cdot-}$ , ou encore l'oxygène singulet  $O_2^{\cdot}$ .

La chimie de BASF apporte une contribution à la résolution de ce problème dans le cas des systèmes LED (« *light-emitting diode* », ou diode électroluminescente). Les systèmes LED ont une performance environnementale reconnue puisqu'ils permettent d'économiser notre consommation d'énergie. Néanmoins ils présentent aussi l'inconvénient d'émettre de la lumière bleue en quantité plus importante que ce que l'on retrouve dans la lumière naturelle (voir le [Chapitre de L. Simonot](#) dans *Chimie et lumière*). BASF a développé des films polymères possédant des pigments qui, au travers d'un effet d'absorption, permettent de transformer ce rayonnement bleu en lumière rouge, jaune ou verte. Ces polymères ont donc un effet protecteur lorsqu'ils sont utilisés comme revêtement à l'intérieur des ampoules LED ([Figure 4](#)). Cela permet de garder un rendu de couleur comparable à celui de la lumière naturelle, mais avec une réduction de plus de 50 à 75 % de la lumière bleue par rapport à un système LED habituel.

Figure 5

A) Couches des différentes peintures appliquées et leurs effets sur une automobile ;  
 B) spectre d'absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde.



## 2 Protéger les matériaux de la lumière

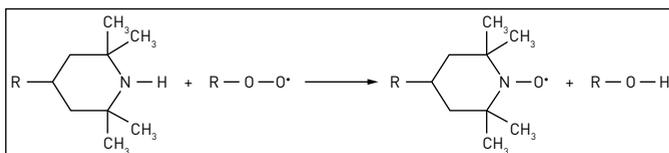
### 2.1. Protéger l'éclat de la couleur

De nombreux matériaux sont altérés par les rayons UV, c'est notamment le cas des peintures pour automobiles, domaine dans lequel BASF est un acteur majeur. La **Figure 5** montre un exemple de système de peinture automobile avec toutes les couches successives de peinture et leurs différentes fonctions comme : la protection contre la corrosion et contre les gravillonnages, la base qui apporte la lumière et la couleur à la peinture, puis le vernis qui protège la peinture des rayonnements du soleil et des agressions chimiques de l'environnement.

Pour protéger les peintures des rayonnements UV du soleil, BASF utilise des absorbeurs UV et des stabilisateurs de lumière que l'on appelle HALS (« *Hindered-Amine Light Stabilizers* », stabilisateur de lumière de type amine bloquée) (**Figure 6**), qui protègent les polymères de la peinture de la dégradation. Des radicaux libres potentiellement capables de dégrader la peinture se forment dans les couches, et les « stabilisateurs de lumière » ont la propriété de capturer ces radicaux libres dès leur formation ; ils augmentent la durabilité des films de peinture et donc la durée d'utilisation des véhicules dans de bonnes conditions.

Figure 6

Fonctionnement des HALS (« *Hindered-Amine Light Stabilizers* ») par capture des radicaux libres.



### 2.2. Protéger du vieillissement

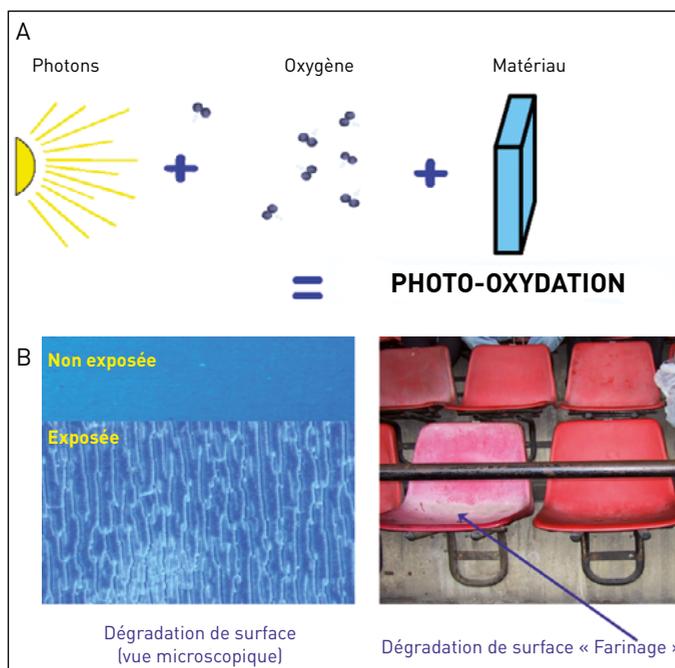
L'utilisation des absorbeurs UV augmente considérablement la durée de vie des objets extérieurs en plastique et préserve par là même nos ressources naturelles.

La **Figure 7** présente un exemple de vieillissement, par photo-oxydation par les rayons solaires sur des sièges utilisés dans les stades. Sans protections particulières, les sièges changent très rapidement de couleur avec un effet de farinage, ce qui limite leur durée de vie.

### 3 Exploiter le potentiel de la lumière

#### 3.1. Renforcer la matière

Les constructeurs automobiles comme Renault PSA et d'autres réalisent la mise en peinture des véhicules sur des carrosseries nues. Pour acquérir leurs propriétés finales, les carrosseries doivent passer dans un tunnel à la température de 140-180 °C. Il est évident que lorsqu'il s'agit de réparer une portière, on ne peut pas passer l'ensemble de la voiture dans un tunnel à 180 °C car celle-ci ne résisterait pas. Dans ce cas, la peinture est appliquée à température ambiante puis traitée par cuisson sous rayonnement UV. Les UV ont la propriété d'activer la réticulation des films polymères



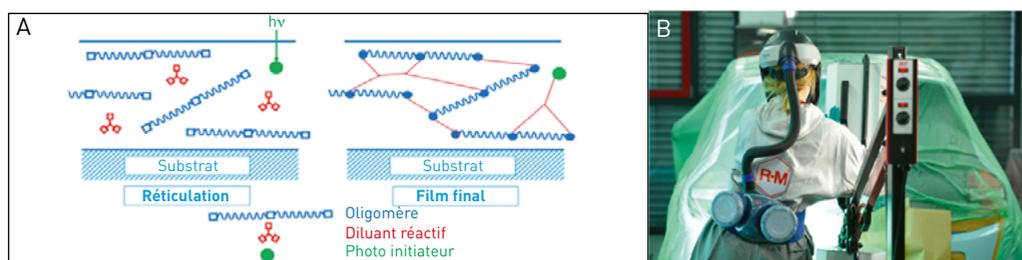
pour leur donner l'aspect et les propriétés finales souhaitées (**Figure 8**).

#### 3.2. Stocker de l'énergie

Dubaï s'est engagé à augmenter la part des énergies renouvelables dans sa consommation énergétique à venir et investit de façon importante dans les centrales solaires : le projet Noor

**Figure 7**

A) Phénomène de photo-oxydation conduisant à la dégradation de surface des matériaux ; B) dégradation des sièges en plastique (« farinage ») après une longue exposition au soleil (vue microscopique à gauche).



**Figure 8**

A) Activation de la réticulation des films polymères des peintures automobiles par irradiations UV ; B) cuisson du vernis d'une voiture à la lampe UV.



Figure 9

La centrale solaire Noor Energy.

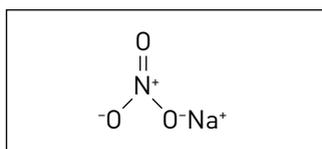


Figure 10

Le nitrate de sodium,  $\text{NaNO}_3$ .

Energy 1 est l'un des plus grands parcs thermo-solaires au monde (Figure 9). Un autre projet est mené à Ouarzazate (Maroc), avec une batterie de miroirs héliostats qui suivent le mouvement du soleil et concentrent toute sa lumière en un point unique en haut d'une tour de 260 mètres, pour y atteindre des températures de 1 000 °C.

Cette chaleur est utilisée pour mettre en fusion, un peu au-dessus de 300 °C, une réserve de nitrate de sodium (Figure 10).

Ce sel à l'état fondu est pompé et acheminé progressivement dans le circuit, où, à travers un système d'échangeur de chaleur, il chauffe de l'eau et la transforme en vapeur d'eau sous pression. Celle-ci est acheminée vers une turbine qui transforme l'énergie calorifique en énergie mécanique pour produire de l'électricité.

Le nitrate de sodium utilisé, qui doit être très pur, est synthétisé par BASF. Le degré de pureté est important car à ces températures élevées les impuretés sont dégradées et elles dégradent le sel, entraînant des dégâts même au niveau du système d'équipement.

Des cuves permettent de stocker pendant la nuit du sel fondu, qui est alors utilisé pour continuer le cycle de génération d'électricité. C'est un circuit fermé qui fonctionne donc en alternance jour/nuit sans discontinuité pour la production d'électricité.

## 4 Diriger la lumière

Deux exemples permettent de comprendre comment la chimie peut rediriger la lumière pour l'utiliser de façon optimum dans notre vie de tous les jours.

### 4.1. Diffuser plus loin la lumière naturelle pour préserver la santé

Dans le domaine du bâtiment, grâce à des gaines conductrices, la lumière peut être exploitée pour éclairer de façon optimum l'intérieur des bâtiments : la chimie permet d'éclairer des pièces aveugles avec de la lumière naturelle, et de réduire ainsi notre dépendance à l'éclairage électrique.

La technologie Skynative consiste à diffuser la lumière naturelle dans une gaine. La Figure 11 montre un exemple d'éclairage de l'entresol d'un bâtiment par des gaines conductrices de lumière. L'intérieur de ces gaines est constitué de films polymères multicouches possédant un indice de réfraction très élevé. Ces gaines ont la propriété de conduire la lumière sur un long parcours à l'intérieur d'un bâtiment, ce qui permet d'éclairer avec de la lumière naturelle des pièces

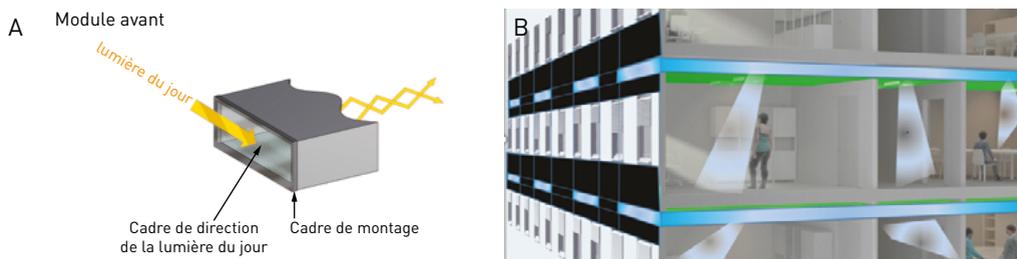


Figure 11

A) Schéma d'une coupe de gaine conductrice de lumière naturelle utilisée à l'intérieur d'un bâtiment « aveugle » issue de la technologie Skynative.

B) Éclairage d'un bâtiment.

sans contact avec l'extérieur. En plus des couches de polymère utilisées pour revêtir l'intérieur de ces gaines, leur surface est revêtue de films polymères qui ont la propriété de capter la lumière et de la canaliser à l'intérieur de ces gaines, avant qu'elle ne soit acheminée à l'intérieur des pièces.

#### 4.2. Réfléchir la lumière naturelle pour économiser de l'énergie

La **Figure 12** présente des doubles vitrages à l'intérieur desquels on place des films polymères constitués de micro-miroirs d'aluminium orientés. L'orientation des micro-miroirs se fait lors du processus de fabrication des polymères. Dans le tiers supérieur de la baie vitrée, on applique un film polymère

dans lequel les micro-miroirs sont tous orientés pour que ce film joue le rôle d'un store invisible. Les rayons solaires, plutôt que de plonger directement sur le sol, sont réfléchis vers le fond de la pièce. Quand les pièces sont très profondes, il est parfois difficile d'éclairer toute la pièce avec des baies vitrées même si elles sont grandes, et cette innovation permet de réorienter et de rediriger la lumière vers le plafond et le fond de la pièce.

## 5 Booster la recherche grâce à la lumière

### 5.1. Bio-impression 3D de peau grâce au laser

BASF est également impliqué dans le domaine de la cosmétique : les produits de cosmétique sont testés sur des

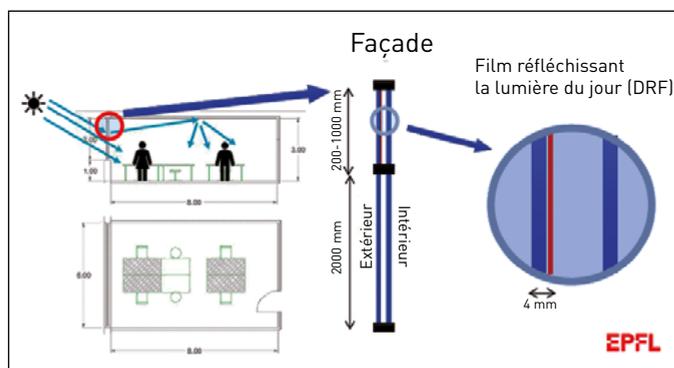
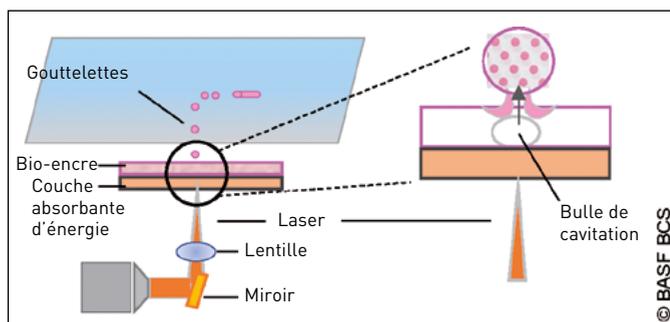


Figure 12

Fonctionnement et intégration de DARE (« DAYlight REdirection ») de la fenêtre.

Figure 13

Fonctionnement d'une bio-imprimante 3D assistée par laser.



reconstitutions de peau artificielle. Des bio-imprimantes 2D ou 3D, dans lesquelles on utilise des cartouches de bio-encre, permettent la fabrication de ces modèles de peaux artificielles (Figure 13). Une cartouche de bio-encre est une solution qui contient des cellules de peau obtenues par des biopsies en provenance d'hôpitaux partenaires. BASF est capable de produire une cartouche de bio-encre de cellules de peau de tous types de personnes : jeunes, moins jeunes, femmes, hommes, peaux basanées, peaux claires. La bio-encre est déposée sur un support métallique. Cette méthode innovante utilise un laser pulsé, qui permet, en étant projeté sur la couche métallique absorbante d'énergie, de transformer l'énergie lumineuse du laser en énergie cinétique pour projeter des gouttelettes de bio-encre sur un support de collagène. On peut ainsi réaliser une impression de cellules de peau sur ce support collagène de façon tout à fait précise, en deux dimensions, et même en trois dimensions. Ce système de collagène imprimé de cellules de peau, introduit dans un milieu de culture adapté, permet en deux semaines de fabriquer des modèles de peau

artificielle de toutes sortes pour tester nos ingrédients cosmétiques.

### 5.2. Visualisation 3D : la lumière permet d'observer l'effet d'un actif sur la peau

Pour suivre l'effet des principes actifs des cosmétiques sur les propriétés de la peau et notamment leur capacité à synthétiser du collagène, on utilise la technique de microscopie multiphotonique<sup>3</sup> par SHG, encore appelée génération de seconde harmonique<sup>4</sup>, qui permet d'avoir une image de ce qui se passe dans les profondeurs de la peau et de suivre la synthèse de collagène néo-synthétisé (Figure 14). On est ainsi capable d'identifier des principes actifs cosmétiques qui ont un effet favorable contre le vieillissement de la peau.

3. Microscopie multiphotonique : type de microscopie généralement utilisée pour observer des tissus vivants.

4. SHG (« Second Harmonic Generation », génération de seconde harmonique) : phénomène optique non linéaire dans lequel des photons interagissant avec un matériau non linéaire sont combinés pour former de nouveaux photons avec le double de l'énergie, donc la moitié de la longueur d'onde des photons initiaux.

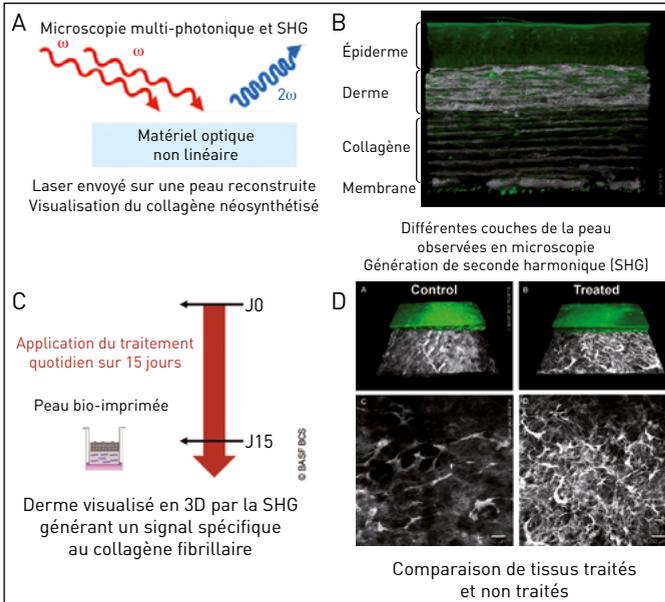


Figure 14

Synthèse de collagène par la peau : A) fonctionnement de la SHG permettant la visualisation du collagène néosynthétisé ; B) différentes couches de la peau observées grâce à la méthode SHG ; C) bio-impression 3D de peau artificielle ; D) comparaison de tissus traités et non traités avec un ingrédient cosmétique qui favorise la néosynthèse du collagène (en gris clair) au niveau du derme.

## 6 Laisser passer le maximum de lumière : la transparence augmentée

Des polyamides semi-transparents sont utilisés pour fabriquer ce qu'on appelle des « gants intelligents ». Le gant intelligent est doté d'un lecteur laser qui permet au manipulateur de faire son travail tout en ayant les mains

libres (Figure 15). Quand le manipulateur prend un colis, le gant est capable de lire le code barre, d'envoyer l'information sur un système informatique, ce qui permet d'être beaucoup plus efficace, et également de travailler dans des conditions beaucoup plus sûres puisque le manipulateur peut se concentrer sur ses gestes.



Gant « intelligent » ProGlove



Figure 15

Gant intelligent « ProGlove », fait à partir d'un polyamide semi-transparent, Ultramid Vision B3K.

## **La chimie sait utiliser la lumière**

Ces quelques exemples montrent que la chimie permet de mieux exploiter la lumière dans de nombreux domaines d'application.

Un grand groupe industriel de la chimie comme BASF a ce savoir-faire et cette capacité d'innovation, que ce soit pour des produits destinés à d'autres industries ou pour des produits grand public.