

## La lumière, source d'énergie Ses applications

**Introduction :** La fondation de la maison de la chimie a organisé un colloque scientifique le 26 février 2020 sur le thème « CHIMIE et...LUMIERE ». La Chimie, industrie des industries, joue un rôle déterminant dans le développement des applications technologiques de la lumière ; elle maîtrise les molécules et les atomes, et rejoint la physique quand elle se préoccupe des électrons et des photons, domaine quantique ; la photochimie connaît, depuis peu, un renouveau remarquable. Le rôle de la chimie est de trouver et surtout de créer des molécules, qui peuvent être « activées » par les différentes longueurs d'onde de la lumière visible et invisible, infrarouge et ultraviolet. La lumière permet cette activation en changeant la configuration électronique, plus ou moins d'électrons, et la polarité des molécules ; par polarisation, on peut orienter la direction des vecteurs des charges électriques. La photosynthèse, créatrice de la végétation sur la Terre, n'est pas autre chose qu'une photochimie naturelle. La lumière est une source d'énergie, à l'instar de toutes les autres, fossiles ou non ; rappelons que « l'énergie est une grandeur caractérisant un système, exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction » (Larousse ». La lumière prend une place de plus en plus grande parmi ces sources, tant par la lumière naturelle ou possiblement stockée ou modifiée, que par la lumière artificielle. Présenter les applications réelles ou envisagées lors de ce colloque, sans entrer trop profondément dans les mécanismes scientifiques et technologiques, est l'objet de ce qui suit.

### La lumière naturelle, source d'énergie

- **La photosynthèse naturelle :** L'énergie lumineuse du soleil excite des électrons de l'eau, entraînant des réactions complexes conduisant à la séquestration du carbone du CO<sub>2</sub> contenu dans l'air; il se combine ensuite avec l'oxygène de l'eau qui constituera plus tard la matière végétale ; l'oxygène du CO<sub>2</sub> est libéré, indispensable à la qualité de l'air. La biomasse créée est de l'ordre de 200 milliards de tonnes par an. Malgré un rendement thermique de 1%, l'énergie captée équivaut à environ 6 fois la consommation énergétique de l'humanité. Le bois est encore la source d'énergie renouvelable la plus importante dans le monde et de loin, environ 40%. D'autres sources de biomasse peuvent être utilisées pour participer à la diminution du CO<sub>2</sub>, dont les biocarburants gaz ou liquides et, dans ces derniers, la troisième génération qui utilise la lumière en photosynthèse ; mais malgré ces chiffres très élevés, le potentiel est limité, ne serait-ce que pour la protection nécessaire des forêts, voire son expansion, et l'usage des sols pour les besoins de la culture.

Un exemple intéressant de photochimie utilisant la lumière solaire artificiellement est celui du furfural, solvant notamment pour le raffinage pétrolier. La production mondiale annuelle est de l'ordre de 1 million de tonnes, en majorité en Chine, et obtenue par des réactions chimiques sur des déchets de biomasse. En concentrant la lumière solaire par des miroirs sur les matières de base, on obtient des performances plus que compétitives par rapport à la voie chimique non « excitée » : conversion, rendement, sélectivité sont tous au-dessus de 94%

-**Le Photovoltaïque :** il transforme la lumière solaire en électricité. La technique reste l'excitation d'un matériau par la lumière : la plaquette très fine d'un matériau semi-conducteur est sensibilisée par deux couches de chaque côté ; l'une est un matériau comptant des électrons excédentaires, le phosphore ; l'autre est un matériau comptant des électrons déficitaires, le bore. Le photovoltaïque est considéré comme un atout majeur dans l'avenir. Son rendement théorique, à ne pas confondre avec le facteur de charge\*, qui dépend des durées et des densités d'ensoleillement, reste assez faible, de l'ordre de 30%. Ceci est dû à la plaquette de silicium, matériau très préféré à 90% pour son abondance et sa résilience ; mais le silicium ne capte qu'une

partie du spectre de la lumière solaire. Le rendement théorique pourrait atteindre 45%, si d'autres matériaux sensibles aux longueurs d'onde non utilisées pouvaient être joints au silicium ; c'est l'hétérojonction, récemment brevetée par le CEA. D'autres technologies sur le même principe sont soit en application, soit en étude, notamment dans ce cas les filières bio-organiques. Pour rappel, le facteur de charge du photovoltaïque varie de 1 à 3%, soit de 8 à 24%, selon la durée et l'intensité de l'ensoleillement et donc de la géographie.

**-Les centrales thermodynamiques :** elles concentrent les rayons du soleil soit sur un foyer fixe au sommet d'une tour, soit sur des tubes absorbeurs, à l'aide de miroirs, afin de chauffer un fluide caloporteur ; la chaleur emmagasinée sert à produire de la vapeur ; cette dernière permet de produire de l'électricité par un alternateur. Le nitrate de sodium,  $\text{NaNO}_3$  très pur, est l'un des fluides utilisés ; son point de fusion est de  $308^\circ\text{C}$ , il est chauffé à  $360^\circ\text{C}$ . Cette chaleur peut être stockée et permet de prolonger la durée de production électrique plusieurs heures après le départ du soleil. La continuité peut être atteinte avec une production de vapeur par une chaudière gaz complémentaire. De nombreuses technologies de ce type existent. Cette technique est promise à un bon avenir, entre 7 et 11% de la production mondiale d'électricité en 2050 selon l'AIE.

### **La lumière naturelle : stockage, bâtiments, protection**

**-Stockage :** Emettre de la lumière après l'avoir reçue, c'est la phosphorescence : c'est une perte d'énergie par les électrons ayant été excités, retournant à un niveau plus bas. Pour l'obtenir, il faut trouver les pigments excitables. Un chercheur de CNRS a imaginé d'éclairer les routes par une bande de peinture les contenant ; cet éclairage doit résister aux intempéries et à l'usure- bande centrale- et être blanche, le blanc étant imposé par les réglementations européennes ; le blanc a nécessité l'usage de plusieurs pigments, émettant simultanément dans le rouge, le jaune, le vert et le bleu, recomposant le blanc. Il y a réussi après plusieurs années, obtenant la plus haute classe de la luminescence du classement européen, avec une durée jamais atteinte de 10H. L'intérêt est son coût économique par rapport à un éclairage classique, 50 fois moins cher. Son entreprise a déjà équipé 20 pistes cyclables en France et inaugurera cette année une route.

**-Bâtiments : dompter la lumière solaire.** Les bâtiments modernes ont des façades tout en verre, très efficace pour l'éclairage de jour et la transparence : la lumière naturelle agit positivement sur la capacité cognitive et la concentration. Comment agir pour dompter la chaleur, sans stores et sans climatiseurs, deux systèmes possibles avec des inconvénients majeurs ; un bon vitrage est celui qui arrête l'infrarouge quand il fait chaud et fait le contraire lorsqu'il fait froid. St Gobain y arrive en utilisant des matériaux électrochromes en 5 couches de l'ordre du micromètre ; chaque couche est excitée par un courant électrique faible, 2,5 volts et 100 milliampères, piloté par un ordinateur ; chacune a un rôle particulier, notamment retenir l'infrarouge, ou assombrir la lumière : la chaleur est retenue à 40% sans incitation et 99% pour une excitation maximale ; le système est progressif dans la durée, mais peut l'être aussi sur l'ensemble des vitrages. Sa durabilité est de 40 ans. Cette technologie très attirante est en début d'application en France ; les pays chauds sont très intéressés par ses performances, permettant des réductions d'énergie de 20 à 30%. La suite, c'est la récupération de l'énergie infrarouge pour d'autres usages.

Autre application : à l'aide de micro-miroirs installés dans des doubles vitrages, on peut introduire les rayons solaires au fond de pièces profondes, voire les conduire dans des pièces sans fenêtres.

-Protection : la peau. La peau est sensible à l'ultra-violet A et B ; elle se défend en produisant de la mélanine, pigment ayant la propriété d'absorber ces rayons. Des cosmétiques contiennent de la mélanine, produites biologiquement, pour augmenter la protection naturelle.

: les peintures : comme la peau, les peintures sont très sensibles aux rayonnements UV. Intégrer des pigments qui les absorbent peut doubler leur durée de vie.

Ces types de protection concernent aussi la lumière artificielle, par exemple contre la lumière bleue émise par les écrans d'ordinateurs, de tablettes, de « smartphones » ou des LED. Dans ce cas, les pigments absorbent les rayons bleus et les transforment en rayons moins nocifs.

### **La lumière artificielle et ses applications :**

- **L'éclairage électrique** : son histoire ne couvre que 140 ans, il a succédé à la bougie, la lampe à huile, l'éclairage au gaz et la lampe à pétrole et sa mutation s'est accélérée depuis l'an 2000. L'incandescence a prévalu au départ : c'est la

circulation du courant électrique dans un métal, illustrée par les ampoules à filament ; le tungstène a été préféré pour sa température de fusion à plus de 3000°C ; l'ampoule halogène a amélioré ses performances de durée de vie et de rendement lumineux sur la fin du 19ème siècle. L'inconvénient de l'incandescence, c'est qu'elle émet 10% de sa puissance dans le visible, et 90% dans l'infrarouge, créatif de chaleur. La luminescence est produite par circulation d'un courant électrique dans un matériau initialement isolant ; son invention est antérieure, mais son développement est plus tardif-1920-, issu de la production industrielle du néon, grâce à la liquéfaction de l'air, grâce à Georges Claude créateur de l'Air Liquide. Ce sont les tubes à néon, suivis par les tubes à fluorescence ou « à décharge »-1937-, puis les lampes fluorescentes-1980. Le LED, « Light Emetting Diode », obéit à la même technologie, mais sans avoir besoin de mercure à l'état gazeux et de luminophores sur les parois ; c'est la découverte d'un matériau émettant dans le bleu, qui, associé à ceux émettant dans le rouge, le jaune et le vert, déjà découverts en 1960, a permis d'émettre dans le blanc, à la fin du siècle. Le LED consomme 30% de moins d'électricité que le fluorescent, mais 8 fois moins que les incandescentes ; il a une durée de vie 10 fois plus longue que ces derniers, et un recyclage possible. Les LED non organiques sont utilisés pour l'éclairage, les organiques pour les écrans et les supports souples. Ils ont éliminés définitivement en 2018 l'halogène, après l'élimination en 2009 des ampoules « classiques », incandescentes.

-**Les lasers, magiciens de la lumière** : activer des atomes à partir d'une source d'énergie et utiliser cette activation pour en activer d'autres à leur tour et les multiplier, c'est le principe du laser, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Ils produisent un faisceau rectiligne très étroit, sur une longueur d'onde précise et donc avec une couleur spécifique, dépendant des matériaux activés : des gaz, des solides, ou des molécules organiques créées par la chimie. La première application du laser a eu lieu en 1965 et ses applications se sont multipliées, dans tous les domaines :

- la chimie : si les lasers ont besoin de la chimie pour les matériaux pouvant être excités, la chimie les lui rend bien en lui permettant de visualiser les réactions chimiques au-delà des atomes et évidemment de modifier les molécules.

-la fabrication additive, bien connue et de toute nature ; exemple remarquable : à partir d'une molécule souche, une start-up française a pu créer de la peau humaine avec un laser... ! Elle est d'un intérêt vital pour soigner les brûlures graves, mais peut aussi servir d'essai de cosmétiques vouées à la protection de la peau, permettant d'en mesurer l'efficacité dans le réel. De plus, cette application peut concerner n'importe quel organe du corps humain, à partir des souches correspondantes !

-l'industrie : en plus de la fabrication additive, le domaine opératoire des lasers est d'une très grande variété : découpe, soudage, marquage, fonctionnalisation des surfaces, dont métallisations des surfaces isolantes, mesures et contrôles : le Lidar, Light Détection And Ranging, très différent du radar qui s'appuie sur les ondes radio, ou du Sonar sur les ondes acoustiques, est un exemple de cette dernière. Les lasers concernent pratiquement toutes les filières

-l'astrophysique : ce sont des lasers très puissants qui peuvent explorer l'univers : ils peuvent « voir » le bout incandescent d'une cigarette à 5 milliards de Kms, distance de la Terre à Pluton. Beaucoup mieux, ils peuvent identifier les molécules existant dans le milieu interstellaire et dévoiler comment la vie a pu naître sur la terre. Encore mieux, ils ont découvert l'existence d'une galaxie, plus petite que la nôtre, mais plus jeune, située à plus de 13 milliards d'années lumière... !

- le médical : tous les domaines sont concernés : ORL, dentaire...etc., esthétique, et globalement la recherche ; à titre d'exemple, on a pu explorer les cellules ganglionnaires sur la couche la plus lointaine de la rétine, et comprendre pourquoi même les aveugles ont une horloge circadienne-du latin « circa »= « autour » et « dies »= « journée » : la lumière impose son rythme à la vie. Autre exemple : l'artémisinine est un médicament contre le paludisme, produit à partir de plantes ; la photochimie intégrée dans le stade final avec

du LED a considérablement amélioré rendement et durée, 3 mois au lieu de 15, permettant une production compétitive.

**-Futur: électricité et énergie :** l'électricité peut avoir un pouvoir important sur la production ou la nature de nouvelles sources d'énergie ; exemples :

-le nucléaire : un laser mégajoule hyperpuissant, avec 250 lasers concentrant leurs émissions sur une cible très petite a été construit à Bordeaux ; il «concurrence» le projet ITER pour la fusion nucléaire, mais sans confinement magnétique. En plus, il pourrait concerner la transmutation des déchets radioactifs de longue durée, les actinides, appui important pour la fission nucléaire, et dont s'occupe M. Gérard Mourou, prix Nobel de physique 2018.

-du soleil aux hydrocarbures : une recherche est en cours au CNRS sur ce thème : le soleil produit de l'électricité par la voie photovoltaïque et alimente un électrolyseur permettant d'éliminer de l'oxygène de l'eau à l'anode et de lier l'hydrogène au carbone du CO<sub>2</sub> à la cathode : ce sont les matériaux utilisés pour l'anode et la cathode, à base de cuivre, poreux et dendritiques, qui permettent de produire des molécules comme l'éthylène pour 35%, l'éthane pour 8%, l'hydrogène pour 42%, l'acide formique pour 6% et du monoxyde de carbone pour 5% selon des expériences réelles de laboratoire. Le rendement solaire est de 2,3%, nettement supérieur au rendement naturel, mais encore loin des performances nécessaires à une industrialisation et à un effet majeur sur la baisse des émissions de CO<sub>2</sub>.

**Conclusion :** n'est-il pas naturel de faire la lumière sur ce qu'elle est ?

Bruno Wiltz 16/05/2020

\* facteur de charge : rapport entre l'énergie électrique effectivement produite et celle qu'elle aurait produite à sa puissance maximale. Il n'est pas spécifique à la production électrique. Il a un « cousin » pour d'autres activités industrielles comme les machines : le TRS : Taux de Rendement Synthétique. Ne pas confondre non plus le facteur de charge avec le taux de marche, qui est le pourcentage du temps d'utilisation quelle que soit la puissance utilisée, composante du facteur de charge.