

technique pour fabriquer, en 1993, un cristal de nitrure de gallium qui émettait de la lumière bleue, la couleur qui manquait à la panoplie des diodes électroluminescentes. En effet, les photons bleus ont une longueur d'onde plus courte, et doivent avoir une énergie supérieure à celle des photons rouges ou orange : ils sont plus difficiles à produire.

Enfin, dans la course au rendement, Michael Krames et ses collègues de la Société *Hewlett-Packard* ont établi un record en 1999 en fabriquant des diodes électroluminescentes rouges qui ont un rendement réel de plus de 55 pour cent. Ils ont enlevé le substrat (une tranche d'arséniure de gallium) originel, l'ont remplacé par une tranche transparente de phos-

phure de gallium, puis ils ont sculpté une diode en forme de pyramide inversée. Cette forme diminue le nombre de réflexions internes et augmente notablement la quantité de lumière qui s'échappe de la puce.

Une autre technologie de diodes électroluminescentes est fondée sur des matériaux organiques. L'électroluminescence des composés organiques a été observée dès les années 1960 sur l'anthracène, puis sur des polymères organiques semi-conducteurs. Depuis les années 1990, les diodes électroluminescentes organiques sont très étudiées, surtout pour la fabrication d'écrans plats flexibles. Ces diodes sont brillantes, bon marché, et disposent d'une large gamme de longueurs d'onde. Cependant, leur

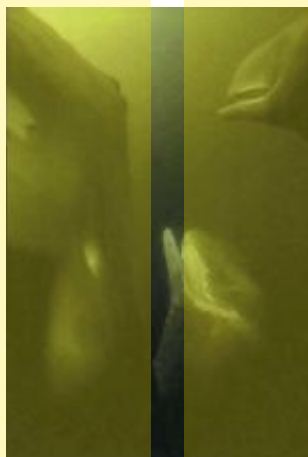
Les diodes électroluminescentes éclairent les profondeurs

Lorsque les biologistes veulent filmer des animaux vivant dans les eaux profondes, tels les cachalots, ils se heurtent à de nombreuses difficultés. Ces mammifères plongent à plusieurs milliers de mètres de profondeur, où il fait nuit noire et où la pression est très élevée. En outre, toute lumière visible modifie le comportement des animaux et de leurs proies, les attire ou, au contraire, les fait fuir. L'éclairage sous-marin classique est inadapté pour les films en profondeur.

En revanche, on peut utiliser des diodes électroluminescentes compactes qui émettent une lumière dont la longueur d'onde est proche de l'infrarouge, visible par une bande vidéo, mais... pas par les animaux. Placées dans un cylindre métallique, les diodes fonctionnent comme des phares invisibles : elles illuminent les animaux présents à deux ou trois mètres de distance, sans modifier leur comportement. Le dispositif contient aussi une caméra automatique et divers équipements, tels des microphones, des capteurs

de profondeur, de température, de direction et de vitesse. Cette «caméra» est assez compacte pour être placée sur le dos d'une baleine, d'un phoque, d'un dauphin, d'un pingouin, d'une otarie, etc. On observe alors les animaux à travers les yeux de leurs congénères. À la fin du tournage, un boîtier se détache automatiquement de la caméra et remonte à la surface.

Cette caméra qui filme dans l'obscurité est le résultat de 14 années d'expérimentation. Lorsque les premières diodes électroluminescentes bleues furent commercialisées, il y a environ quatre ans, elles coûtaient 250 francs pièce, mais elles émettaient une lumière trop visible pour les animaux qui nageaient aux alentours. En revanche, des caméras contenant des diodes électroluminescentes dont la longueur d'onde est proche de l'infrarouge évitent cet écueil, et ont été fixées sur divers animaux marins. Les biologistes ont ainsi découvert des comportements qui n'avaient jamais été observés auparavant, tels des phoques soufflant des bulles ou «chantant» lors de rituels amoureux.



CACHALOTS éclairés par les diodes électroluminescentes d'une caméra sous-marine.



Color Kinetics (haut gauche) ; Lumileds Lighting

5. LES APPLICATIONS des diodes électroluminescentes se multiplient. Quelques exemples : éclairage de vitrines et d'exposition, par exemple celle des costumes des Beatles, au *Metropolitan*

Museum of Art, à New York (a) ; feux de signalisation routière (b) ; enseignes lumineuses (c) ; tableaux de bord, clignotants et feux arrière d'automobile (d).

durée de vie reste très limitée, en comparaison des diodes électroluminescentes inorganiques.

Le grand espoir blanc

Les physiciens s'attaquent maintenant à la fabrication de diodes électroluminescentes blanches. On trouve déjà des diodes blanches dont l'efficacité est légèrement supérieure à celles des ampoules à incandescence. Certaines sont utilisées pour éclairer les écrans des téléphones cellulaires et les tableaux de bord dans certaines voitures. Leur puissance atteint environ 15 lumens par watt. En revanche, les diodes pour l'éclairage et les illuminations des monuments, par exemple, nécessitent une puissance de 100 lumens par watt. Les bénéfices potentiels d'une lumière blanche produite par des diodes bon marché sont énormes. Le marché mondial de l'éclairage lumineux est en effet estimé à 70 milliards de francs. C'est pourquoi les trois principaux acteurs de l'éclairage – *Philips*, *Osram Sylvania* et *General Electric* – investissent autant dans la recherche et dans le développement des diodes électroluminescentes blanches. Au lieu des ampoules de verre fragiles, brûlantes, remplies

de gaz, qui ne durent pas très longtemps et qui gaspillent la plupart de leur énergie sous forme de chaleur, nous pourrions disposer de meilleures sources d'éclairage. Les diodes électroluminescentes d'une automobile, par exemple, dureraient aussi longtemps que la voiture elle-même, et l'énergie de la batterie économisée grâce à ces diodes servirait à l'électronique à bord.

La société tout entière en tirerait profit. L'éclairage représente 20 à 30 pour cent de la consommation d'électricité des pays développés. Les systèmes d'éclairage standard ne convertissent au mieux que 25 pour cent de l'électricité en lumière. Si les diodes électroluminescentes blanches parvenaient à l'efficacité des diodes rouges disponibles aujourd'hui, les besoins en énergie diminueraient, et

la quantité de dioxyde de carbone émise dans l'atmosphère par les centrales électriques serait réduite de 300 mégatonnes par an. Cette perspective est attractive, mais le remplacement à grande échelle de l'éclairage public ne se fera pas avant une dizaine d'années. Aujourd'hui, les meilleures diodes électroluminescentes blanches coûtent environ trois francs par lumen, 10 à 20 fois plus qu'une ampoule à incandescence. Il faudra réduire les coûts et convaincre les consommateurs d'adopter les diodes électroluminescentes, plus chères à l'achat, mais qui durent plus longtemps. Toutefois, ils se laisseront sans doute convaincre par la solution d'avenir que représentent ces diodes : elles consomment peu d'énergie, de sorte qu'elles participent moins au réchauffement de la planète que les ampoules classiques.

George CRAFTORD, qui mit au point la première diode électroluminescente jaune, travaille à la Société *LumiLeds Lighting*, à San Jose. Nick HOLONYAK est professeur de physique et d'électronique à l'Université de l'Illinois. Frederick KISH dirige le département recherche et développement de la Société *Agilent Technologies*.

Bob JOHNSTONE, *We Were Burning : Japanese Entrepreneurs and the Forging of the Electronic Age*, Basic Books, 1999. Charles T. WHIPPLE, *Replacing the Light Bulb*, in *Photonics Spectra*, vol. 33, n° 12, pp. 104-109, décembre 1999. Neil SAVAGE, *Leds Light the Future*, in *Technology Review*, vol. 103, n° 5, pp. 38-44, septembre/octobre 2000.