

## La LED une révolution ?

---



# La LED une révolution ?

---

## Introduction

Il n'y a pas si longtemps de simples ampoules halogènes en forme de poire suffisaient à éclairer un musée, puis durant les trente dernières années, elles furent remplacées par des systèmes d'éclairage mieux adaptés et plus performants. Ainsi est apparu dans toutes les institutions des projecteurs halogènes sophistiqués pour un éclairage professionnel pour une mise en valeur des différentes expositions. Tout semblait déjà acquis, codifié, normalisé dans la technique de l'éclairagiste puis la révolution électronique est arrivée, elle d'abord touchée le domaine musical par le passage du vinyle au CD, ensuite elle est venue transformer l'univers de la photographie, de l'argentique à la photo numérique, et désormais c'est au tour de l'éclairage de subir de nouveaux changements. L'éclairage électronique a fait ces premiers pas dans le domaine du spectacle qui a su mélanger l'éclairage traditionnel et la nouveauté. Pourtant le tournant majeur se fera vers 2007, avec l'arrivée de LED qui commence à faire son petit bout de chemin dans les éclairages de spectacles et dans les étals des magasins. La lumière électronique agrandie sa renommée et améliore désormais son rendement lumineux qui au départ rappelons-le n'était qu'une simple lumière pâlotte et blafarde. Désormais le LED devient un concurrent sérieux contre les halogènes, il s'impose sur le point de la consommation d'énergie L'éco-consommateur devient le porte-parole inconditionnel de l'éclairage électronique, le LED répond sous tous les critères à la demande de consommation actuelle et s'intègre parfaitement dans l'environnement professionnel et privé. Même les derniers produits halogènes ultra-perfectionnés et moins gourmand en énergie ne résistent pas à cette frénésie, le LED est devenu la révolution de notre 21<sup>ème</sup> siècle.

Rappelons-nous dans nos souvenirs de visiteurs d'expositions, la lumière était devenue l'acteur principal qui permettait de susciter une interaction entre l'objet et le visiteur, une lumière chaude ou froide ne donnait pas la même sensation. Pendant des années l'utilisation d'ampoules halogènes donnant une couleur légèrement jaunâtre était la seule source de lumière possible, pour un changement d'ambiance il fallait mettre des filtres additionnels. Désormais la lumière LED vient supplanter l'halogène car elle est capable de produire toute une palette de couleur avec le même support ce qui supprime les inconvénients des filtres additifs. Nous savons dans le milieu des musées que l'utilisation d'une mauvaise source d'éclairage peut non seulement diminuer la valeur esthétique d'un objet mais peut aussi engendrer des conséquences dramatiques. Il est important de prendre en compte qu'une source de lumière produit des rayons de manière non visible, ce sont les ultraviolets que nous cherchons un soleil lorsque nous voulons bronzer notre peau. Pourtant qui n'a pas fait l'amère expérience d'une dégradation des objets dû à un éclairage déficient, d'où l'intérêt qui se pose à nous, le LED serait-il la réponse à cet épineux problème de conservation ? Est-il capable de conjuguer sécurité et pérennité des objets ? Comme toute nouveauté émergente, cette nouvelle forme d'éclairage pose aussi l'interrogation de la nocivité : A-t-elle les capacités de remplacement des autres sources lumineuses sans danger pour l'homme ?

Dans notre travail nous analyserons les différentes problématiques soulevées ci-dessus. Nous commencerons par comprendre le LED, son histoire, son fonctionnement. Puis nous prendrons en compte les changements que le LED suscite dans les musées et les galeries, ensuite nous analyserons le problème de la conservation et de l'exposition d'objets délicats, spécialement le problème des photos anciennes. Nous ferons un rapide parcours sur les marchés économiques et l'éclairage électronique qui est devenu un marché important surtout en Asie. Une nouvelle technologie ne va pas sans un danger potentiel, nous laisserons la parole à des médecins et chercheurs, et pour finir nous donnerons notre conclusion personnelle.

# Sommaire

---

0.	Introduction	p. 2
1.	<u>Historique</u>	
1.1.	Son origine	p. 4
1.2.	Son fonctionnement	p. 5
2.	<u>La LED au musée</u>	
2.1.	National Portrait Gallery et National Gallery de Londres	p. 7
2.2.	Museum für Kunst und Gewerbe in Hambourg	p. 8
2.3.	Autres exemples	p. 9
2.4.	Mise en garde du choix des LED	
3.	<u>Lumière et conservation d'objets</u>	
3.1.	« The museum environment »	p. 11
3.2.	Getty Conservation Institute	p. 12
4.	<u>Une diminution des coûts</u>	
4.1.	Réduction de la consommation	p. 15
4.2.	Un marché gigantesque	p. 16
4.3.	Des matières rares	p. 18
5.	<u>Risque sanitaire</u>	
5.1.	Un rapport scientifique	p. 20
5.2.	Une contre réaction	p. 22
6.	<u>Conclusion</u>	p. 23

# 1. Historique

---

## 1.1. Son origine

Son appellation d'origine est anglaise, elle signifierait : « light emitting diode » ou LED. En Français elle s'appellerait : « diode électroluminescente » ou en abrégé DEL. C'est pourtant l'appellation anglaise qui sera préférée, c'est normalement le cas dans le domaine de l'électronique.

Son histoire commencerait à New-York en 1907 un chercheur américain du nom d'Henry Joseph Round aurait mis au point une diode électroluminescente émettant une lumière assez faible de couleur jaunâtre. Un article sur cette expérience a paru en 1907 dans le journal « Electrical World de New York »<sup>1</sup>. Cependant cette découverte étant trop faible pour être utilisée, elle restera sans suite.

En 1962 la première diode électroluminescente fera réellement son apparition grâce à deux chercheurs : Nick Holonyak Jr. et Sam Bevacqua tous les deux travaillant dans la compagnie américaine General Electric<sup>2</sup>. Dès lors cette LED qui ne produit qu'une lumière rouge va intéresser surtout les milieux industriels comme par exemple IBM<sup>3</sup> qui l'implante sur ses premières cartes d'ordinateurs, ce fut d'ailleurs le premier pas de son utilisation. Par la suite les diodes LED ne se résument seulement qu'à certaines applications basiques jusqu'en 1990, notamment les indicateurs « marche/arrêt » des appareils électroniques, les télécommandes infrarouges des télévisions, les panneaux lumineux d'informations.

Le changement d'orientation arrivera seulement en 1990, le Dr. Shuji Nakamura, alors employé par la société Nichia<sup>4</sup>, va découvrir la possibilité de créer une diode bleue. Cette innovation majeure a été le point de départ de la recherche et de la mise au point d'autres diodes de couleur. D'abord la LED fera son apparition dans le domaine de l'éclairage scénique qui aura à sa disposition toute la palette de couleurs possible. Et enfin la fameuse diode blanche fera son apparition grâce à la diode bleue<sup>5</sup>.

Aujourd'hui la LED rejoint l'intimité des appartements ou des maisons, elle donne la possibilité de transformer son chez soi en une variation de couleurs infinies qui permet de changer l'ambiance, de revaloriser un meuble ou de mettre en valeur une pièce à vivre. La lumière électronique fait désormais partie de notre quotidien. Il est intéressant d'en comprendre son fonctionnement.



Les trois couleurs qui permettent d'engendrer la couleur blanche

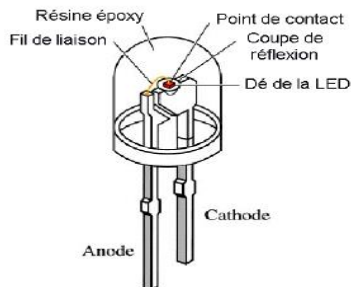
- 
1. *Journal Américain qui relate l'expérience de Joseph Round dans un article sur une demi-page. Article tiré de wikipédia.*
  2. *Une compagnie américaine très connue dans le monde pour la fabrication d'ampoules électriques (GE).*
  3. *IBM qui implante des LED rouge comme témoins de fonctions sur ses ordinateurs.*
  4. *Le plus grand fabricant japonais d'ampoules électriques et de LED actuellement.*
  5. *Source tiré de [http://kacer.over-blog.com/pages/Lampes\\_LEDs-3211012.html](http://kacer.over-blog.com/pages/Lampes_LEDs-3211012.html) Une page qui décrit le développement du LED. Article déjà dépassé par les nouvelles évolutions mais néanmoins intéressant pour découvrir les différentes façons de concevoir des LED.*

## 1.2. Son fonctionnement

La LED n'a pas le même principe qu'une lampe classique qui utilise un filament avec un courant alternatif, jusqu'à ce que la température soit telle que le filament rayonne (comme un morceau de fer chauffé à blanc). La LED est un produit électronique qui n'a pas de filament mais à la place un minuscule semi-conducteur<sup>6</sup> dopé contenant des métaux rares (indium, gallium, etc...) dans une coupelle qui canalise le flux lumineux, l'ensemble étant inséré dans une petite capsule de résine qui doit être traversé par un courant électrique de plusieurs ampères<sup>7</sup> pour produire un effet de lumière, un ballast électronique vient réguler l'allumage. Avec la naissance de la LED bleue et par le biais d'une couche phosphorescente jaune plaquée dessus, la lumière blanche a ainsi pu être générée.

Il existe actuellement trois méthodes pour fabriquer une lampe à diode électroluminescente émettant de la lumière blanche. Tout d'abord, il est possible de combiner une diode émettant dans le bleu avec une substance qui modifie la lumière bleue en lumière jaune. La deuxième méthode est identique à la première, mais une diode émettant dans l'ultraviolet remplace la diode bleue. Enfin, la dernière technique consiste à assembler au moins trois diodes émettant dans des longueurs d'ondes visibles qui en se combinant émettent une lumière blanche<sup>8</sup>.

Ce type de LED avec une capsule était surtout utilisé dans les débuts, désormais c'est une puce qui la remplace, elle se fixe sur une partie en céramique où l'on dépose un fil d'or pour que le courant électrique la traverse, ensuite elle est reliée à une partie électronique pour l'allumage et l'on recouvre la puce de phosphore jaune. Ce type de LED est désormais plus puissant et il vient rivaliser avec un éclairage halogène. On le retrouve actuellement dans la plupart des produits.



Description d'une LED à capsule :  
le courant circule entre l'anode et la cathode



6. Un **semi-conducteur** est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et des isolants à proprement parler.
7. Unité d'intensité de courant électrique.
8. [www.led-fr.net](http://www.led-fr.net) site complet sur le phénomène LED tenue par un passionné scientifique qui nous livre une somme d'informations pour tout savoir sur la LED

Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas le composant qui est important pour l'avenir mais la mise au point de la partie optique et électronique qui va permettre de concevoir des innovations

dans le futur. Nous assistons déjà à des nouvelles LED plus performantes et graduables comme les sources halogènes. L'importance de l'alliance des éléments optiques et électroniques, en un mot à l'optoélectronique donne aux LED une poussée dans la précision de diffusion.

## 2. La LED au musée

---

Certains musées déjà conquis par cette nouvelle technologie ont commencé le changement de leur système complet d'éclairage. Ils ont suivi l'exemple d'autres institutions. Voici l'exemple que nous développerons comme première base de réflexion, celui du « National Gallery » et du « National Portrait Gallery » à Londres qui sont deux édifices de constructions différentes.

### 2.1. La National Portrait Gallery et National Gallery de Londres

Le choix d'utiliser un éclairage avec du LED c'est posé au moment de changer un système devenu vieillissant et presque obsolète. Le test a commencé dans une petite salle d'exposition de la « National Portrait Gallery » car il s'agissait dans un premier temps de tester sur une faible surface le rendu des couleurs et d'analyser le résultat avec minutie. Le résultat du test fut concluant donna l'idée à la « National Gallery » de faire de même progressivement.

A la « National Gallery » les LED ont été mis seulement dans certaines salles pour l'instant mais le changement va s'effectuer durant les années à venir. Voici ci-dessous le résultat de l'éclairage électronique sur les deux institutions.



*National Portrait Gallery : éclairage LED avec en appoint une lumière du jour faible*



*National Gallery : éclairage en LED avec en appoint la lumière du jour forte*

M. Dawson Carr, directeur des collections de peinture anciennes de la « National Gallery », rappelle que si cette nouvelle source de lumière réussit à ce point l'éclairage des œuvres c'est parce que dans leurs salles la lumière du jour abonde, ce n'est malheureusement moins le cas dans la « National Portrait Gallery » avec ses salles peintes en vert. M. Dawson aime les LED pour leur lumière légèrement plus froide mais plus proche de la lumière naturelle que celle des ampoules incandescentes. La lumière des LED à l'avantage de se mélanger facilement à la lumière naturelle, les tons rouges et or ne sont plus soulignés aussi fortement comme avec de l'halogène<sup>9</sup>.

---

9. Article paru dans la revue d'éclairage Erco, cahier lichtberich 92, Ludenscheid, Germany p. 12

Le rendu des tableaux exposés convient bien avec de l'éclairage en LED qui souligne plus la peinture et moins le cadre comme auparavant, par contre les objets en trois dimensions, les sculptures notamment, perdent un peu de leur plasticité comme si le relief manquait un peu. Cela est sûrement dû au système des ampoules LED qui utilisent plusieurs points de diffusion de lumières et non une source unique comme l'halogène. Selon Dawson Carr, l'un des problèmes soulevé par de l'éclairage avec du LED c'est que nous sommes trop habitués à ce que les oeuvres d'art soient vu dans une lumière chaude. Cette habitude changera avec le temps, c'est comme lorsque l'on passe d'une salle éclairée par des lampes halogènes à une autre éclairée par des LED qui donne la sensation d'être plus claire. Or ce n'est pas le cas, c'est seulement une impression<sup>10</sup>.

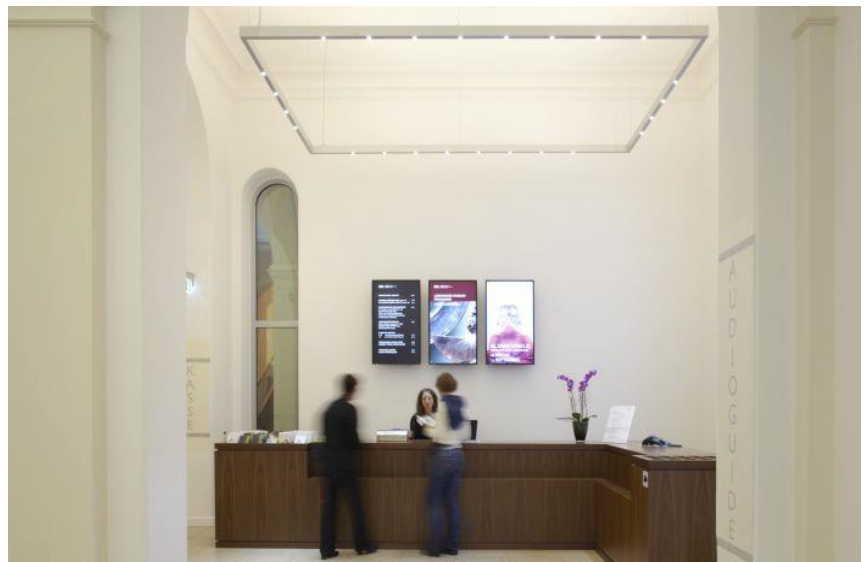
Avec les LED de couleur chaude, M. Stephen Cannon-Brookes, directeur d'une entreprise de design en lumière, souligne que même si ces lumières peuvent avoir presque le même niveau de qualité d'éclairage que les lampes halogènes, l'ironie est que les LED d'une qualité inférieure de couleur ont tendance à avoir une plus grande efficacité - ainsi en cherchant à avoir une source de lumière plus chaude (en convertissant la lumière bleue en rouge) vous allez réellement la rendre moins économe en énergie avec plus de chaleur<sup>11</sup>. Un dilemme pour tous les musées, doivent-ils opter pour moins de qualité ou la compromission d'économies d'énergie ? Un moyen d'équilibrer le rendu de couleur semble être aussi l'utilisation de la lumière naturelle.

## 2.2 Museum für Kunst und Gewerbe in Hambourg

Voici un exemple en Allemagne où le « Museum für Kunst und Gewerbe » (musée d'art et d'industrie) à Hambourg accueille désormais ses hôtes dans un hall d'entrée inondée de lumière naturelle et de LED. Comme le souligne le directeur technique du musée, M. Thomas Frey : «*Dès le début nous nous sommes tournés vers la solution des LED, ce fût un défi pour trouver la bonne luminosité, maintenant nous avons enfin atteint le résultat souhaité. Le concept "Plus de lumière" fut l'approche privilégiée qui a nécessité un travail de transformation des zones d'entrée en jouant avec des ouvertures pour laisser entrer le soleil*»<sup>12</sup>.

Désormais la nouvelle entrée principale, complètement illuminée et claire, donne l'impression d'un espace lumineux, complété par des LED savamment disposés.

Entrée pour l'accueil des visiteurs au Museum für Kunst und Gewerbe à Hambourg, éclairage LED avec en appoint la lumière du jour savamment disposée



---

10. Article paru dans la revue Erco lichtberich 92, Ludenscheid, Germany p. 13

11. <http://www.museumsassociation.org/museum-practice/lighting/17012011-lighting-leds> article de Rebecca Atkinson du 17.01.2011 Is now time to invest in LED lighting ?

12. Tiré du cahier cahier n° 18 Gutes Licht für Museum, Frankfurt am Main 2011.



### 2.3. Autres exemples

D'autres grandes institutions vont suivre le même exemple comme le musée du Louvre à Paris qui vient de remplacer une partie de son éclairage extérieur par du LED construit sur mesure afin de ne pas dénaturer son architecture, un partenariat astucieux avec une firme japonaise qui va doter le musée d'un nouvel éclairage jusqu'en 2023. Le musée d'Orsay de Paris suit la même tendance, il a déjà transformé plusieurs salles dont celle des peintres impressionnistes. La pierre blanche qui recouvrait le sol et les murs dans la muséographie initiale de l'architecte italienne Gae Aulenti a disparue. La lumière du jour qui tombait directement sur les toiles depuis la verrière de l'ancienne gare, est désormais filtrée et un éclairage LED révèle les oeuvres sous un jour nouveau. Les murs ont pris la couleur d'un gris très sombre. Pour M. Guy Cogeval président du musée *«Le choix de la couleur, c'est là où j'ai le plus hésité»*, il pensait au départ choisir un vert. *« Nous avons préparé un petit espace, comme un appartement témoin, avec différentes teintes en mettant les peintures sous divers éclairages»*, finalement le gris foncé c'est imposé. *«Ces tableaux ont été peints pour des salons et des intérieurs bourgeois. On est plus proche de l'esprit original»*.<sup>13</sup>



Salle impressionniste du musée d'Orsay avec éclairage en LED

En Suisse la tendance LED est aussi présente et les musées ne sont pas à la traîne, les premiers sont le musée d'Art Brut à Lausanne (MBA)<sup>14</sup> qui a pris le parti de transformer la totalité de son matériel d'éclairage et l'Institut Archéologique et musée d'Art et d'Histoire (Archäologische Institut und die Kunsthistoriker) à Zurich<sup>15</sup>. Désormais la lumière électronique semble avoir de plus en plus d'adhérents, elle fleuri un peu partout, au Laténium, au musée de la Gruyère, etc...

### 2.4. Mise en garde du choix des LED

Devant l'engouement du LED, M. Paul Ruffles, professionnel en éclairage, recommande à tous les musées de s'assurer de choisir un conducteur de bonne qualité, et ne pas oublier que c'est d'abord le dispositif électronique qui contrôle le flux de puissance dans les LED, et qu'il doit avoir une durée de vie similaires à la lumière du LED, ce sont des systèmes qui coûtent très cher généralement et

---

13. Interview à AFP du 28.09.2011 de Guy Cogeval sur le thème : *« Une nouvelle naissance pour le musée d'Orsay »*

14. Article de la Revue Suisse Energie du 18.11.2010

15. Article dans la revue Energiefachbuch, LED-Museum, Uni Zurich 2009

un tel investissement doit avoir les garanties d'un service après-vente sur plus de 10 ans. Il rappelle aussi ces conseils de prudence : *lors de la spécification du produit sur les catalogues, il faut bien regarder s'ils produisent un éclairage à partir d'une seule source de couleur ou plusieurs sources pour s'assurer que les couleurs seront les mêmes dans toute l'exposition*<sup>16</sup>. Il ne faut pas oublier que dans le processus de fabrication, les LED peuvent générer des variations de couleur assez large et « *la plupart des fabricants ont tendance à éviter ce problème en citant l'efficacité du système - le flux réel de la lumière produite en comparaison avec de l'halogène - au lieu citer la sortie mesurée dans des conditions de laboratoire* »<sup>17</sup>.

En résumé l'efficacité lumineuse d'une LED dépend majoritairement de :

- La température de couleur de la LED
- Le courant d'alimentation
- La température au niveau de la puce

Une LED aura une efficacité lumineuse qui dépendra largement de ces trois paramètres : la teinte, le courant d'alimentation et la température d'utilisation. Pour la teinte, elle est intrinsèque à la LED et dépend essentiellement de sa constitution. Par contre pour le courant d'alimentation et la température d'utilisation, ils sont liés à l'intégration de la LED dans un système. Une LED de teinte chaude utilisée avec un fort courant à des températures élevées aura une efficacité lumineuse très inférieure à celle d'une LED de même modèle de teinte froide utilisée à faible courant et à basse température. Il n'est pas possible de fournir une valeur précise de l'efficacité lumineuse d'une LED de manière générale. Nous pouvons seulement dire que cette valeur varie typiquement entre une dizaine de lumen par Watt à plus de cent, car ceci dépend de la LED.

De même sur cet autre point M. Jean-François Hocquard, directeur général d'une compagnie d'éclairage, s'inquiète du fait que les LED vendus aujourd'hui ne pourraient plus exister d'ici quelques années. Malgré une durée de vie longue proclamée par les fabricants, personne ne sait aujourd'hui la durée exacte et si ces systèmes devront être remplacés dans quelques années. Le drame serait un réinvestissement pour une autre remise à niveau complète l'éclairage, ce qui coûterait trop cher à une institution. Une des conséquences pour certains serait d'avoir à remplacer leurs vitrines d'expositions selon la façon dont l'éclairage a été installé<sup>18</sup>. Cette affirmation confirme la prudence à avoir au moment d'investir dans de l'éclairage LED, il ne faut pas oublier qu'il est évolutif, il n'est qu'au début de son histoire et chaque six mois une amélioration est produite. Le mieux serait une garantie minimum sur 10 ans entre le prestataire et le musée. Adopter une approche progressive en combinant l'éclairage LED avec les autres types de lampes pourrait être une bonne approche.

Le LED au musée questionne non seulement la qualité de l'éclairage mais aussi les professionnels de la conservation. Une nouvelle technologie qui arrive pose toujours le problème de la conservation des objets délicats. Quels doivent être désormais les critères à prendre en compte en termes d'éclairage ?

---

16. [www.museumsassociation.org/museum-practice/lighting/17012011-lighting-leds](http://www.museumsassociation.org/museum-practice/lighting/17012011-lighting-leds) article de Rebecca Atkinson du 17.01.2011 *Is now time to invest in LED lighting ?*

17. *Idem*

18. *Idem*

# 3. Lumière et conservation d'objets

---

## 3.1. « The museum environment »

Un livre qui avait fait autorité jusqu'à ce jour et écrit par Garry Thomson, de la « National Gallery ». Cet écrit était devenu une référence incontournable sur les normes d'éclairage au musée. Il précisait bien les points importants suivants les sources de lumière utilisées. Chaque source de lumière produit des rayonnements invisibles qui sont nuisibles aux éléments organiques. Dans une fiche technique d'action de la lumière sur les matériaux il est rappelé que les dégradations photochimiques sont essentiellement dues à l'énergie des rayonnements de faible longueur d'onde du domaine du visible et surtout aux ultraviolets. Nombreuses sont aussi les sources de lumière qui produisent une quantité non négligeable de radiations infrarouges, donc de chaleur. L'effet sur les matériaux pourra être direct (ramollissement du matériau, voire inflammation) ou indirect (assèchement, augmentation des dégradations photochimiques). Il faut ériger des protections en vue de la préservation. Garry Thomson recommande pour l'utilisation des néons de mettre seulement un filtre léger transparent qui servira à protéger les objets efficacement. Pour l'utilisation de projecteurs halogènes c'est très différent, ils doivent être utilisés par paires et l'un des deux devra porter un filtre spécial de couleur bleu pour donner un rendu de couleurs correct sur l'objet tout en le préservant. Il faut avoir au moins 200 Watts de puissance pour correspondre à des fluorescences de 50W selon les normes fixés et surtout donner les 200 lux recommandés pour les peintures à l'huile par exemple<sup>19</sup>. Ayant fixé ces recommandations, la « National Portrait Gallery » change désormais de cap avec l'acquisition de LED, cela signifie-t-il que le LED est venue supprimer toutes les contraintes ?

Souvenons-nous des directives de conservation qui classent les matériaux suivant leur sensibilité à la lumière en quatre catégories.

- Les matériaux inorganiques en très grande majorité sont dans la première catégorie, insensibles à l'action des rayonnements optiques, comme les objets en métal ou en pierre, céramique, verrerie.
- Les matériaux sensibles comme les peintures vernies et les objets en bois, en cire, etc..
- Les matériaux très sensibles comme les papiers de bonnes qualités, les aquarelles, les pastels, les étoffes de laine, les étoffes en coton, certaines photographies, les objets en ivoire, etc..
- Les matériaux extrêmement sensibles comme les papiers de faible qualité, les étoffes en soie, les photographies anciennes<sup>20</sup>.

---

19. Thomson G. 1986. Livre «The museum environment» London: Butterworth-Heinemann Article de Kevin Shaw „the dilemma of lighting in Museum“ sur [www.kevan-shaw.com/ksld\\_upload/pdf/display\\_conservation.pdf](http://www.kevan-shaw.com/ksld_upload/pdf/display_conservation.pdf)

20. Article de Kevin Shaw et de Malcom Innes du 17 octobre 1993 sur «Lighting in Museum » sur [www.kevan-shaw.com](http://www.kevan-shaw.com)

Garry Thomson dans son livre dresse un tableau précis des couleurs les plus vulnérables au moins vulnérables à la lumière<sup>21</sup>.

Degré de vulnérabilité	
Extrême	Noir d'ivoire, blanc de titane (rutil), le blanc de zinc, violet de cobalt, ultramarine, bleu cobalt, vert de chrome, de malachite, des couleurs terreuses, Jaune de Naples, plomb-étain, pigment or...
Très sensible	Manganèse bleu, bleu de Prusse, jaune de zinc, jaune de cadmium, vermillon, carmin...
Sensible	Acétate de cuivre, jaune de chrome, chrome rouge ...
Peu sensible	Les autres colorants, magenta....

Un musée qui a pour mission principale la conservation des objets qu'en est-il de l'utilisation du LED dans les expositions ? Pour répondre à une telle question il fallait trouver un institut qui avait validé par une expérience un résultat de comparaison.

### 3.2. Getty Conservation Institute

Au Getty Conservation Institute Del Paso au Texas où on étudie les dommages que l'éclairage traditionnel peut infliger aux œuvres d'art, le chercheur Jim Druzik s'est penché avec son équipe sur la LED, il a suivi de manière scientifique une exposition de photographies, datant des années 1840 jusqu'au début des années 1900, présentée au musée J. Paul Getty. Comme les tirages de photos en albumine sont très sensibles à la lumière, ceux-ci ont donné une bonne appréciation scientifique pour une étude de ce genre. Au niveau de l'éclairage, des lampes halogènes style PAR 38 ont été utilisées dans les hauts plafonds. Par contre dans la partie où les photos sont exposés, l'éclairage traditionnel a été remplacé par des lampes LED. Le suivi scientifique a consisté à vérifier régulièrement sur des photos sélectionnées si des changements de couleur seraient visibles. En outre, pour cette expérience il a utilisé avec son équipe des normes de vieillissement connus pour comparer les deux types d'éclairage : LED et halogène. Il a procédé au test connu de la laine bleue dans le milieu de la conservation, dont voici le procédé : Trois cartes sont au départ recouvertes de bandes horizontales identiques de laine bleue de teintes différentes. Ces gammes de laine bleue servent à mesurer l'ampleur de la décoloration due à l'exposition à la lumière et aux rayons ultraviolets<sup>22</sup>.

---

21. Thomson, G. 1986. Livre «The museum environment» London

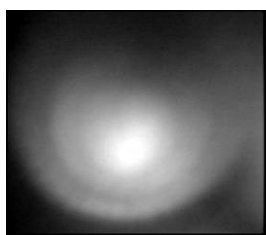
22. Article de James Brodrick sur Gateway Roundup : «Can Museum Measure Up ?» juillet 2011

- La carte de gauche n'est pas décolorée.
- Sur celle du milieu, un pan longitudinal est protégé de la lumière par du papier aluminium. Le pan un peu plus sombre était protégé par un filtre UV, alors que le pan le plus décoloré n'était pas protégé du tout.
- Cette carte à droite n'a pas de protection aluminium ni filtre UV. Placée pendant huit mois le long d'une fenêtre exposée au sud, cette gamme de laine bleue montre une décoloration équivalente à celle enregistrée après des décennies d'exposition à l'éclairage commandé des salles d'exposition.

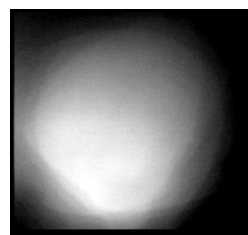


*Carte de laine bleue suivant explication ci-dessus*

Pour l'équipe scientifique la dose de lumière sera estimée sur le nombre d'échantillons de laine décoloré durant une période de temps donnée mais sans tenir compte des ultraviolets<sup>23</sup>. De cette manière il sera possible de faire une évaluation réaliste des dommages engendrés. Pour ce test deux produits LED avaient été sélectionnés, une ampoule MR16 fabriquée par CRS Electronics<sup>24</sup>, et une autre fabriquée par la firme Xicato<sup>25</sup>. Les mesures du test ont été effectuées uniquement jusqu'à un million d'exposition lux-heures. Ci-dessous comparaison des faisceaux des deux sources.



*Faisceau d'une lampe halogène MR16*



*Faisceau d'une LED MR 16*

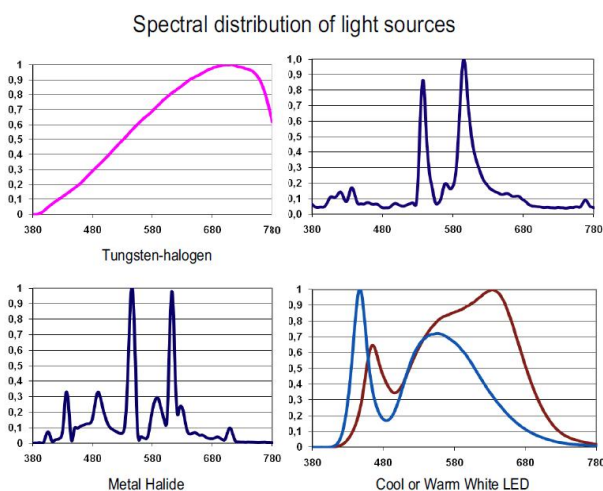
En regardant les deux faisceaux différents sur les photos ci-dessus, ce qui frappe en premier est la LED qui a une plus tache lumineuse. Lorsque l'expérience scientifique s'est achevée, le résultat de l'expérience fut que la plupart des colorants ont fondu au même

23. *The Getty Conservation Institute présentation de l'étude dans le rapport de la National Pacific Northwest Laboratory dans un symposium sur « Solid-State Lighting for Museums » par Jim Druzik*

24. *Grand producteur de luminaires lié spécialement à l'USA Energie.*

25. *Grand fabricant de LED : Xicato recommends a qualified lighting designer from the Professional Lighting Design Association (PLDA) or the International Association of Lighting Designers (IALD).*

rythme, indépendamment de la source de lumière utilisée, sans doute en raison de la similitude du spectre des sources. Les colorants utilisés dans les échantillons de laine bleue, autrement dit les colorants connus durant les siècles passés ont réellement disparu un peu plus lentement sous les LED que sous les halogènes. Les résultats obtenus jusqu'ici sont donc encourageants et suggèrent que les LED ne présentent pas plus de risque de décoloration d'œuvres d'art que ne le font les sources halogènes. Dans ses conclusions M. Druzik s'empresse d'ajouter que, par rapport à l'halogène, *la LED a un pic très bleu dans son spectre de lumière et cela pourrait être le facteur majeur qui contribuerait à la similitude avec des halogènes*<sup>26</sup>.



Explication du graphique : comparaison des pics selon les sources utilisées

En premier une lampe halogène, à côté une lampe de sodium, en bas à gauche, une lampe en iodure métallique et sur la droite en bas : Une LED de teinte froide (trait bleu), possède un pic important dans le bleu et une petite part dans les longueurs d'onde plus grandes (le mélange des longueurs d'onde du spectre conduit à une teinte bleutée). Tandis qu'une LED de teinte chaude (trait rouge) possède un petit pic dans le bleu et une grande "bosse" dans les rouges, il en résulte une teinte jaunâtre<sup>27</sup>.

En conclusion notons que cette étude a été effectuée avec des LED de couleur blanche froide et qu'il serait intéressant de comparer les résultats obtenus avec des LED de couleur blanches chaudes sur le marché en 2012. A ce jour aucune autre étude sérieuse n'est venue démontrer le contraire des propos de M. Druzik.

26. Article du Getty Conservation Institute « *Journal of Light and Visual Environment* » n°4 vol.32 2008

27. Dale Konkright, conservateur du Georgia O'Keefe Museum in Santa Fé. Dans sa lettre de mars 2010 qui a fait un buzz dans tous les musées sur les problèmes liés à la conservation avec du LED. Il rappelle la prudence pour les objets et les matières sensibles car les LED sont des sources discontinues avec des pics lumineux supérieurs à l'halogène. Les LED produisent un spectre électromagnétique très puissant. Le spectre magnétique est la manière de réfléchir la couleur sur la matière et la longueur d'onde la manière dont elle est absorbée par l'objet. La conséquence serait une détérioration progressive des matières.

## 4. Une diminution des coûts

---

### 4.1. Réduction de la consommation

Pour les musées qui utilisent le LED, la motivation sous-jacente est en fait le désir de réduire la consommation électrique et de diminuer les coûts de maintenance, tout en conservant une qualité d'éclairage comparable à celle des sources halogènes. Tous les musées équipés en LED suite à un investissement conséquent vérifieront sans problème une baisse des coûts sur leur facture annuelle, non seulement électrique mais aussi en maintenance. Avec l'halogène il faut une personne qui change assez souvent les ampoules défectueuses avant chaque ouverture, généralement un membre du personnel. Avec le LED plus d'ampoules défectueuses à changer mais est-ce bien une économie en termes de durabilité sur plusieurs années ? Une ampoule normale halogène produit plus de 50 % de chaleur, seul les LED de couleur chaude en produiraient environ 10%. La température ambiante du musée change, l'hiver il faudra un peu plus de chauffage pour compenser la perte de chaleur générée par les ampoules halogènes.

Les promoteurs de l'éclairage électronique argumentent les économies d'énergie réalisées par les ampoules à LED. Les arguments de vente avec des performances de l'ampoule à LED qui font pâlir de jalousie toutes les autres sources. Une durée de vie de 50 000 heures minimum, soit cinq fois plus qu'une ampoule fluo-compacte. Côté efficacité énergétique, elle affiche un flatteur 40 % quand une ampoule à incandescence ne convertit en lumière que 5 % de l'énergie électrique qu'elle consomme<sup>24</sup>. Sans oublier la propagande de tous les milieux économiques et écologistes, tous les sites web qui parlent de la lampe miracle. Un décret de l'Union Européenne déjà en 2009 a banni la lampe traditionnelle trop gourmande d'ici 2016. Les lampes énergivores ne se trouveront plus dans les commerces. Voici un exemple type tiré d'un journal écologique : *"Si les Etats-Unis remplaçaient la moitié de leurs ampoules actuelles par des LED, ils pourraient fermer 16 centrales nucléaires"*<sup>28</sup>. A cela un scientifique répondait dans un autre article *"La conséquence pour le pays serait une perte de 70 % de sa luminosité. On ne le verrait même plus du ciel. Pour garder le même niveau d'éclairage, il faudrait multiplier les LED. Au final, ce serait non pas la fermeture de centrales nucléaires mais de nouvelles centrales qu'on devrait construire..."*<sup>29</sup>. Cela montre bien que même si on lutte pour diminuer les coûts des ampoules énergivores, le LED pour fonctionner produit aussi un coût électrique et non des moindres, et certains LED sont assez gourmand en électricité, surtout ceux qui se rapprochent le plus de l'éclairage halogène.

---

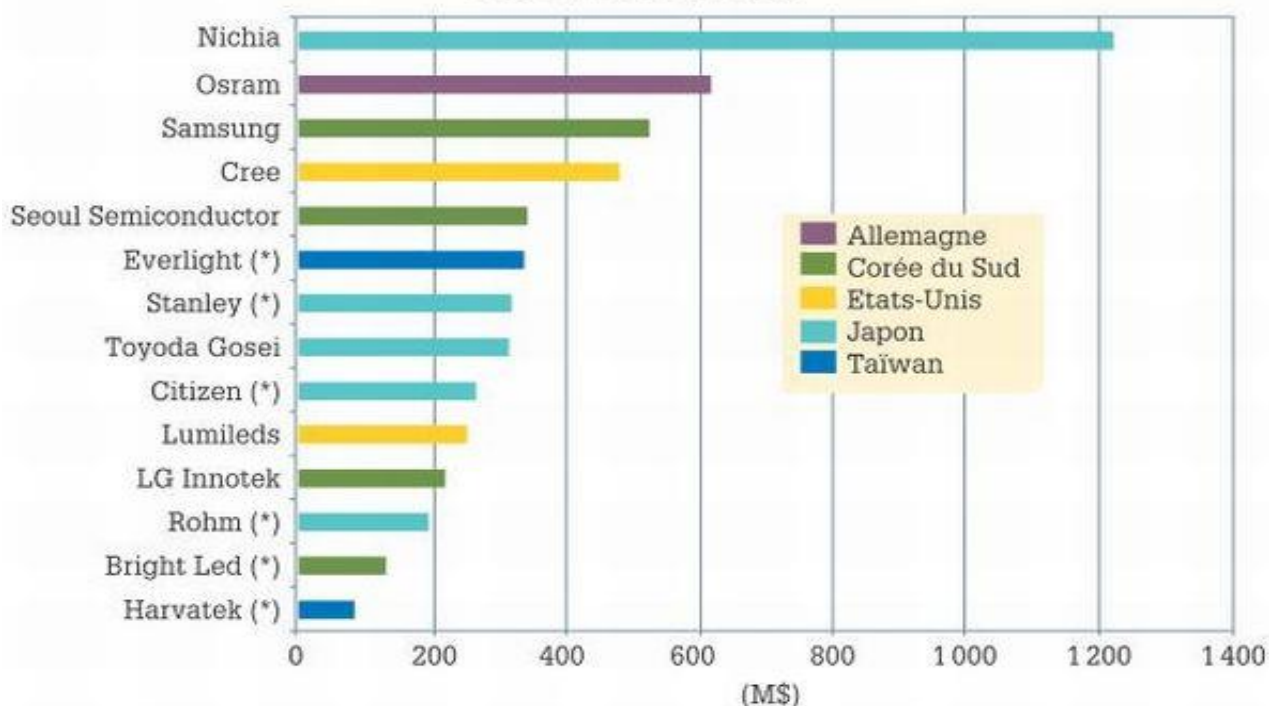
28. Article le Monde Planète, L'ampoule LED par Terra Eco du 7.12.2009

29. idem

## 4.2. Un marché gigantesque

Le LED est devenu la panacée de l'éclairage du futur et il a pris place dans la stratégie de l'économie mondiale et il se trouve aujourd'hui en plein développement. Le marché du LED avait déjà progressé de 93% en 2010 et avait atteint la barre des 10,8 milliards de dollars, contre 5,6 milliard de dollars une année auparavant. Ce marché mondial des LED à haute luminosité a progressé encore de 9,8% en 2011 pour atteindre 12,5 milliards de dollars<sup>30</sup>. Cette croissance vertigineuse est due à la forte progression des ventes de LED dédiées aux applications de rétro-éclairage (écrans TV, téléphones portables, tablettes tactiles, etc...). Voici en exemple un tableau<sup>31</sup> des ventes du marché en 2009

**Figure 2.- Le Top 14 des fabricants mondiaux de LED en 2009**



Les fabricants de LED qui sont marqués ici d'un astérisque ne disposent pas en interne d'une capacité de fabrication de tranches et puces LED par procédé d'épitaixie.

*Sondage réalisé en 2009 le groupe japonais Nichia est demeuré l'incontestable numéro un mondial du secteur, devant Samsung LED, Osram Opto Semiconductors, Philips LumiLeds Lighting, Seoul Semiconductor, LG Innotek, Cree, Sharp, Toyoda Gosei et Everlight. Cependant la poussée de la Corée du Sud est spectaculaire et la Chine n'est pas en reste elle est en train de combler son retard par un investissement massif pour rester compétitive et rattraper les autres fabricants américains, coréens, européens, japonais et taïwanais.*

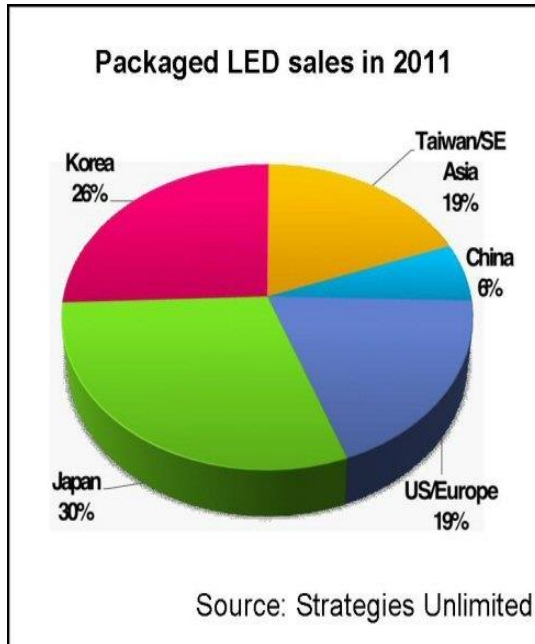
30. Tiré de la revue *Electroniques*, article de Pascal Coutance, mars 2011

31. Tiré de la revue *Electroniques*, article de Pascal Coutance, janvier 2010

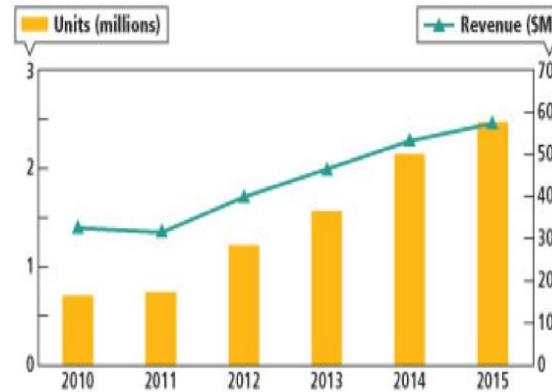
Une revue de marketing et de stratégie économique<sup>32</sup> a dévoilée dans son analyse la liste des 10 plus



importants fabricants mondiaux de LED en 2011, un top 10 qui a engrangé à lui seul l'an dernier plus de 68% du marché mondial des LED. Ce classement est constitué, dans l'ordre, de : Nichia (Jap), Samsung LED (Cor), Osram Opto Semiconductors (All), LG Innotek (Cor), Seoul Semiconductor (Cor), Cree (USA), Philips Lumileds (USA), Sharp (Jap), Toyoda Gosei (Jap) et Everlight (Tai).



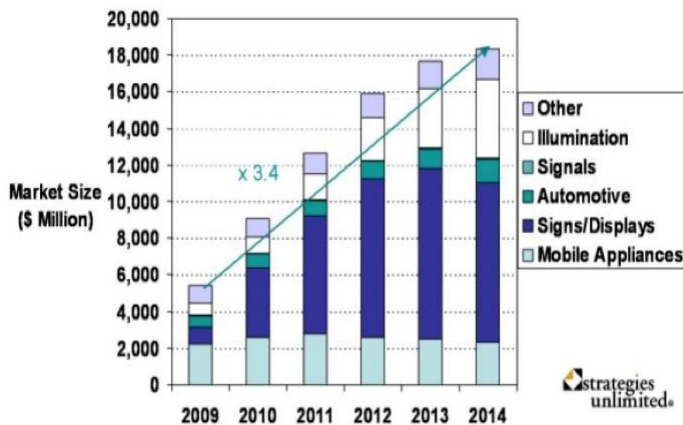
*En deux ans le Japon s'est fait rattraper par la Corée, la Chine avec 8% est encore loin derrière mais elle n'a pas dit son dernier mot car elle est en pleine croissance.*



*Voici la courbe de développement économique prévue pour les années à venir*

Mais de combien serait le marché de l'éclairage direct ? Là les chiffres sont moins éloquentes, dans l'optique du remplacement des sources traditionnelles, comme les lampes à incandescence, qui seront progressivement bannies ? Le rapport estimait que le marché du LED allait croître à un rythme annuel moyen de 39 %. En 2010, il s'élevait déjà à 890 millions de dollars et devrait donc dépasser les 4,5 milliards de dollars en 2015<sup>33</sup>. Cette forte croissance sera surtout le fruit d'une amélioration de l'efficacité des LED.

### HB LED Market Forecast 2010-2014



32. [www.strategies-u.com/articles/reports/](http://www.strategies-u.com/articles/reports/)

33. *Idem*

La Chine pourrait bien devenir le plus grand producteur mondial de LED, le gouvernement chinois a décidé d'en doter toutes ses infrastructures, une ville entière est consacrée à la construction des nouvelles ampoules qui fleurissent sur le marché<sup>34</sup>.

### 4.3. Des matières rares

A termes ce ne sera plus la question d'économie d'énergie qui dominera la réflexion mais l'utilisation de matières premières rares qui permettent de construire un système électronique d'une ampoule LED. Un marchand d'éclairage avait déjà dit ceci à ses clients en 2009 : « *Malheureusement le boom actuel de la demande de composants électroniques va de pair avec une raréfaction des matières premières, rendant de plus en plus difficile de répondre dans de brefs délais la commande de grosses quantités non prévues* »<sup>35</sup>. De plus la question du recyclage se posera aussi plus tard car la LED contient des matériaux difficilement recyclable comme les lampes fluo-compacte. Et les arguments sur quels fronts plaident-ils la LED comme l'éclairage indispensable du futur ?

Ceci est une liste d'arguments de vente couramment utilisée :

- Elles n'utilisent que peu d'énergie par rapport aux lampes actuelles, car leur rendement est supérieur (40 – 100 Lumen / Watt selon le modèle).
- Les LED ont une longue durée de vie de 50'000 heures. Si vous allumez votre lampe LED 4 heures / jour, elle durera environ 35 ans! Imaginez le simple fait de ne plus devoir changer vos lampes pendant toute cette période !
- Les LED n'émettent que peu de chaleur. Contrairement aux lampes «classiques», les LED n'émettent pas de radiation infrarouge. De plus, dans certains lieux, le dégagement de chaleur des lampes à incandescence ou halogène est un réel problème. Les LED permettent de trouver une solution économique et fiable.
- Les LED n'émettent pas de rayons ultraviolets.
- Les LED permettent une meilleure précision du faisceau. Cette précision est due à leur source directionnelle.
- Les LED sont ultrarésistantes aux chocs. Contrairement aux lampes classiques, une lampe LED supportera d'être déplacée ou de subir des chocs. Cet avantage est surtout valable pour les personnes effectuant des prestations et devant déplacer des équipements d'éclairage.
- Les LED émettent dès l'allumage à 100% de leur rendement. Contrairement aux lampes fluorescentes dites «économiques», les LED sont directement opérationnelles à 100% de leur rendement. De plus, elles permettent de très nombreux allumages et extinctions sans aucun problème<sup>33</sup>.

Or ces diodes sont constituées de semi-conducteurs dont la production s'avère "*plus gourmande en énergie que celle des lampes classiques... et pour doper les performances du silicium, matière première de cette industrie, on y ajoute de l'indium, un métal dont les dérivés sont dangereux pour la santé des employés qui le manipulent*"<sup>36</sup>. Pour pallier à ce problème, des chercheurs font

---

34. Shenzhen

35. Walter A. Ziegler directeur de CEO TridonicAtco fournisseur en luminaires dans la revue Flash 2010

36. [www.lampe-led-4g.com/actualites-des-leds/led4g-sur-capital.html](http://www.lampe-led-4g.com/actualites-des-leds/led4g-sur-capital.html)

actuellement des expérimentations sur des matériaux alternatifs, moins dangereux et moins polluants, tel que l'oxyde de zinc. Ces solutions ne seront cependant pas au point avant plusieurs années. En attendant, les industriels utilisent des métaux rares qui ne seront pas facile à récupérer au recyclage<sup>37</sup>. Pour l'instant les ampoules à LED, disponibles dans le commerce seulement depuis deux ou trois ans fonctionnent encore. Et si elles durent les 50 000 heures promises par les fabricants, on ne les verrait pas dans les bacs de recyclage avant 20 ans<sup>38</sup>.

---

37. Article de la revue Bilan du 5 octobre 2011 de Pascal Vermot :

*Yttrium, erbium, terbium, scandium, europium... Derrière ces désignations cryptiques perdues au sein de la table de Mendeleïev se cache le problème majeur de nombreuses industries depuis près d'une année. Ecrans plats, disques durs, catalyseurs pour automobiles, batteries pour véhicules électriques et hybrides, panneaux solaires: tous utilisent un ou plusieurs des 17 éléments catalogués parmi les terres rares, un groupe de métaux particulièrement peu abondants dont les gisements constituent à ce jour un quasi-monopole chinois. Ce que les fabricants ne disent pas, c'est que le prix des terres rares pourrait contrecarrer le joli plan d'imposer les LED blanches comme le nouveau standard de l'éclairage domestique. Les diodes électroluminescentes actuelles sont, elles aussi, dépendantes de ces précieux métaux, le terbium en particulier, lequel entre dans le phosphore nécessaire à l'émission d'une lumière blanche chaude et unie...*

*Pour Nicolas Grandjean, directeur du Laboratoire en semi-conducteurs avancés pour la photonique et l'électronique de l'EPFL. Pour ce scientifique, les diodes elles-mêmes n'ont plus guère de secret à livrer. La course à la performance se passe davantage au niveau des procédés de fabrication qui viennent entourer le dispositif et qui permettent, selon le principe physique qui se trouve à la base de cette technologie, aux électrons d'émettre des photons à une longueur d'onde optimale. «Une bonne partie des recherches menées sur les LED se jouent au niveau des couches semi-conductrices – comme le nitrure de gallium – et des substrats sur lesquels elles reposent afin qu'elles émettent le maximum de lumière dans le spectre visible et qu'elles soient facilement manipulables par les fabricants, selon les procédés dont ils ont l'habitude. Mais le cœur de ces LED, nécessaire pour que l'électron se métamorphose en photon, contient lui aussi un matériau relativement rare et onéreux: l'indium. Une voie s'ouvre aux fabricants: l'éventualité d'utiliser, comme substrat, un matériau avec lequel toute l'industrie des semi-conducteurs a l'habitude de travailler depuis plus de cinquante ans: le silicium. «C'est là que se concentre l'attention des chercheurs»....*

38. *Pour Georges Zissis, scientifique connu mondialement, les arguments de durée de vie d'une LED sont exagérée, il ne faut pas tomber dans le même travers que la lampe fluo-compacte qui a générée une frustration du consommateur. Selon lui il vaut mieux dire la vérité qu'une LED après 6000 heures d'utilisation perd son intensité de presque la moitié et que des LED bon marché achetées sur le marché public peuvent avoir seulement une durée de vie de 2000h. Et enfin un éclairage homogène est difficile actuellement car chaque produit peut avoir des variations après quelques heures d'allumages.*

# 5. Risque sanitaire

---

## 5.1. Un rapport scientifique

En attendant une nouvelle génération de LED moins polluants, un rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) publié en France en 2010 pose une interrogation de la santé de l'homme sur la rétine. Une société du nom d'OSIRIS<sup>39</sup> a lancé en 2008 une interrogation écrite sur les impacts possibles du LED sur la rétine. Suite à cette interpellation, un groupe d'experts en ophtalmologie, en dermatologie, en éclairage et en physique des rayonnements optiques ont produit un rapport de plus de 310 pages. Ce groupe s'est réuni dix fois entre mai 2009 et mars 2010 pour passer en revue la littérature scientifique sur le sujet, étudier les mesures faites dans leurs laboratoires et interroger des scientifiques et des représentants de l'Association française de l'éclairage (AFE).

Les diodes électroluminescentes sont des sources d'éclairage en plein développement technologique et économique. Utilisées depuis de nombreuses années dans l'électronique comme sources de lumières faibles et monochromatiques, elles trouvent aujourd'hui leur place dans les systèmes d'éclairage : éclairage scénique, feux de véhicules, éclairages domestiques. Partout l'utilisation des LED comme source d'éclairage s'intensifie dans les lieux de travail<sup>40</sup>. Le rapport identifie d'abord les risques qui sont associés à une trop grande exposition à la lumière bleue. Des travaux scientifiques<sup>41</sup> réalisés sur des singes en laboratoire avec des LED bleues montrent des résultats qui laissent suspecter un danger rétinien assez conséquent<sup>42</sup>. Des renseignements supplémentaires issus d'observations humaines et d'études expérimentales sur des cultures cellulaires et sur différentes espèces animales convergent pour démontrer une toxicité particulière des courtes longueurs d'ondes (bleues) pour la rétine. La lumière bleue est ainsi reconnue pour ses effets néfastes et dangereux sur la rétine, résultant d'un stress oxydatif cellulaire.

---

39. Société française spécialisée dans les lasers et leurs applications dans les domaines médical et industriel. Dans ce courrier, il était souligné le lien possible entre l'exposition de l'oeil à des rayonnements de longueurs d'ondes courtes, proches des ultraviolets (caractéristiques des spectres lumineux des LED) et le risque d'induire une pathologie oculaire : la dégénérescence maculaire.

40. Des composantes intenses dans la partie bleue du spectre de la lumière émise par les LED, ainsi que les intensités de rayonnement associées posent la question de nouveaux risques sanitaires liés à ces sources d'éclairage

41. Dawson, et al, Local fundus response to blue (LED and laser) and infrared (LED and laser) sources, *Exp. Eye Res.*, 73(1):137-47 2001. Ueda et al, Eye damage control by reduced blue illumination, *Exp. Eye Res*, 89(6):863-8. 2009

42. Les lampes à incandescence ont une efficacité lumineuse de l'ordre de 10 à 15 lumens par Watt (lm / W), les lampes halogènes de l'ordre de 15 à 30 lm / W, les lampes fluorescentes compactes de l'ordre de 50 à 100 lm / W. Actuellement, certaines LED atteignent des rendements allant jusqu'à 100 à 150 lm / W, avec des prévisions pour 2020 de l'ordre de 200 lm / W La limite théorique de l'efficacité lumineuse des sources lumineuses est fixée à 683 lm / W. - L'Indice de Rendu des Couleurs (IRC) est un indice compris entre 0 et 100 qui définit l'aptitude d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs des objets qu'elle éclaire, par rapport à une source de référence. La lumière solaire a un IRC de 100, tandis que certaines lampes à vapeur de sodium basse pression (utilisées dans les tunnels routiers par exemple) ont un IRC de 20. Dans les magasins, les locaux scolaires ou les bureaux, l'IRC devrait toujours être supérieur à 80. Tiré de CIE : Commission Internationale de l'Eclairage

L'interrogation qui fait débat sur le classement des LED dans ce rapport : doivent-elles être classées en matière de risque photobiologique, selon les normes appliquées aux lasers ou aux sources incohérentes<sup>43</sup> selon la CIE ?

Les effets aggravants de la lumière bleue sur la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) sont fortement soupçonnés. Les études réalisées à ce jour manquent de précision dans l'évaluation de l'exposition au LED. Pourtant le rapport donne un classement de population à risques.

- Les enfants (en raison de la transparence du cristallin) et les personnes « aphakes » (sans cristallin) ou « pseudophakes » (avec un cristallin artificiel).
- Les populations sensibles à la lumière : les personnes atteintes de certaines maladies oculaires (par exemple de DMLA) ou des patients consommant des substances photosensibilisantes pour lesquels la lumière bleue peut être un facteur aggravant de leur pathologie.
- Les personnes travaillant dans le milieu de l'éclairage (monteur, technicien) qui sont soumis à des éclairages de forte intensité et donc susceptible d'être exposés à de grandes quantités de lumière bleue.

Nous savons qu'en éclairage d'intérieur une luminance supérieure<sup>44</sup> 10'000 cd/m<sup>2</sup> est visuellement gênante quel que soit le luminaire utilisé. Or les LED peuvent présenter des luminances 1'000 fois plus élevées<sup>45</sup>. Il est donc impératif de prendre en compte une bonne application des normes édictées sur le confort et l'ergonomie visuelle, en particulier dans les lieux de travail<sup>46</sup> et dans les foyers. Le rapport stipule que dans les cas de l'utilisation du LED, d'autres sources lumineuses devraient être présentes dans le dispositif d'éclairage.

Cependant le risque d'effet thermique, associé à une brûlure de la rétine et résultant généralement d'une exposition de courte durée à une lumière très intense est peu probable dans un usage courant des LED.

La technologie des LED peut conduire à l'émission de champs électromagnétiques dans la mesure où cet éclairage est associé à un dispositif d'alimentation et de transformation de tension. En raison des faibles niveaux d'exposition engendrés, ce point n'a pas fait l'objet d'un examen particulier par le groupe de travail, quant aux risques éventuellement associés.

---

43. CIE RJS009:2002 «Photobiological safety of lamps and lamp systems ».

44. La luminance (en cd / m<sup>2</sup>) quantifie la lumière émise par une source étendue, par unité de surface. Elle définit l'impression lumineuse perçue par un observateur qui regarde la source. Elle permet donc d'évaluer l'éblouissement.

45. Le niveau de rayonnement direct de ce type de source peut ainsi largement dépasser le niveau d'inconfort visuel, bien plus qu'avec les éclairages dits « classiques » (halogènes, lampes basses consommation).

46. Principes ergonomiques visuels applicables à l'éclairage des lieux de travail » évoque une luminance admissible de 2000 cd / m<sup>2</sup> pour une petite source présente dans le plan de travail.

Le rapport rappelle néanmoins les fabricants à concevoir des systèmes d'éclairage ne permettant pas une vision directe du faisceau émis par les LED afin de prévenir l'éblouissement. En particulier, l'Anses recommande d'utiliser des dispositifs optiques pour limiter les luminances perçues directes ou réfléchies et rendre les sources de lumière à LED plus diffuses. De même à prendre en compte l'usure des couches de phosphore des LED blanches, qui pourrait conduire à terme à un niveau plus élevé du groupe de risque photobiologique. Et enfin de réglementer leur utilisation dans les milieux publics et privés.

Une recommandation pour les fabricants de développer des moyens de protection (lunettes) pour les travailleurs professionnels particulièrement exposés. D'une mise en place d'un étiquetage sur les produits concernant les risques encourus photobiologiques<sup>47</sup>.

## 5.2. Une contre réaction

Ce rapport a soulevé bien des interrogations au niveau des professionnels acquis à la technologie des LED. Comme toujours les médias se sont emparés du rapport et ont annoncé sans ménagement à la population que les LED étaient dangereuses. Cette information c'est répandue comme une traînée de poudre dans la population qui s'interroge désormais sur la nocivité du bleu dans l'éclairage. Or cette nocivité dépend uniquement du taux d'exposition comme le souligne le rapport de l'ANSES. Le bleu est un composant essentiel de la lumière naturelle.

Un éclairage bleu ou blanc froid peut être nocif pour une partie de la population mais à des taux d'exposition relativement élevés. Par exemple dans le rapport à la page 170 nous apprenons qu'un luminaire LED de 15 W composé de 6 LED de 2,5W entraîne un risque zéro. Par contre un luminaire de 3 W entraîne un risque 1. Le risque est difficilement quantifiable tant les paramètres sont nombreux à prendre en compte en calcul. Le rapport précise ceci : « la forte composante bleue du spectre d'émission des LED expose à des risques de lésions maculaires en cas d'expositions à des luminances fortes ». Le rapport ne dit pas que la lumière bleue est dangereuse.

Cette étude a démontré qu'un assemblage de LED au sein d'un luminaire entraîne moins de risques qu'une LED unique. Notre estimation est qu'une LED utilisée dans des conditions normales entraîne peu ou pas de dommages liés à son utilisation. Naturellement celui qui fixe un faisceau LED à moins de 20 cm risque des lésions que nous ne pouvons pas nier. Sinon que dire du risque d'éblouissement des halogènes crayons sur pieds de 300W ou 500W vendu dans tous les magasins de bricolages<sup>48</sup>.

---

47. Rapport complet de l'ANSES sur [www.afssa.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf](http://www.afssa.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf)

48. Article de Frank 26 octobre 2010 en réponse au rapport de l'ANSES sur [www.ampoule-leds.fr/les-ampoules-led-ne-sont-pas-dangereuses.php](http://www.ampoule-leds.fr/les-ampoules-led-ne-sont-pas-dangereuses.php). L'auteur précise qu'il n'a pas pour but de se substituer à cet excellent rapport mais simplement de clarifier un peu la situation face aux nombreuses questions reçues concernant l'alerte fortement ressentie à la publication de ce rapport.

## 6. Conclusion

---

Avant ce travail sur les LED je me sentais plus concerné par les arguments de vente et d'économie d'énergie. Après toute cette réflexion approfondie, la LED ne m'apparaît plus comme la lumière de demain du fait de l'utilisation de matières rares et de son coût énergétique de fabrication. C'est d'après moi un simple tournant industriel, peut-être plus la poule aux œufs d'or de certaines sociétés industrielles comme nous l'avons vus dans un des chapitres. Quand on sait que le Vénézuéla ou Cuba font le forcing pour changer des millions d'ampoules par du LED en quelques mois, il y a de quoi réjouir les sociétés productrices concernées qui vont réaliser un chiffre d'affaire conséquent. D'ailleurs d'autres pays suivent la cadence. La LED n'est pas la solution écologique prônée par tous les responsables écologiques, elle sera difficilement recyclable et constituera des déchets toxiques pour les générations futures comme pour les ampoules fluo-compactes. Le défi des scientifiques est de trouver une solution durable et écologique. Peut-être est-ce le OLED à qui on a remplacé les semi-conducteurs en silicium par des matières organiques, qui sont en fait des matières plastiques. Elle est moins coûteuse à produire, elle a surtout moins d'impact sur l'environnement que la LED et elle peut s'intégrer facilement dans les matières, mêmes souples. Ou la lampe au plasma qui est en train de progresser dans des laboratoires de recherches. L'avenir reste ouvert à d'autres façons de concevoir un éclairage.

Mon but dans cette conclusion n'est pas de décourager ou de bannir les inconditionnels du LED car il n'y a pas d'autres choix actuellement. Mais le mieux restera toujours la réflexion avant le passage à la lumière électronique. Certains musées l'ont fait, d'autres le feront. Je le ferai aussi pour le musée que je dirige en attendant de voir sortir d'autres systèmes bien plus respectueux de l'environnement.

*Perrin Pierre-André, directeur de la Fondation Guex-Joris à Martigny.*

*Travail réalisé dans le cadre du certificat de muséologie en 2012 par l'ICOM Suisse*

# 7. Sources bibliographiques

---

## Internet :

[www.afssa.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf](http://www.afssa.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf)

[www.ampoule-leds.fr/les-ampoules-led-ne-sont-pas-dangereuses.php](http://www.ampoule-leds.fr/les-ampoules-led-ne-sont-pas-dangereuses.php)

[www.kacer.over-blog.com/pages/lampes\\_LEDs-3211012.html](http://www.kacer.over-blog.com/pages/lampes_LEDs-3211012.html)

[www.kevan-shaw.com](http://www.kevan-shaw.com) Article de Kevin Shaw et de Malcom Innes du 17 octobre 1993 sur «Lighting in Museum »

[www.kevan-shaw.com/ksld\\_upload/pdf/display\\_conservation.pdf](http://www.kevan-shaw.com/ksld_upload/pdf/display_conservation.pdf) Article de Kevin Shaw „the dilema of lighting in Museum“

[www.lampe-led-4g.com/actualites-des-leds/led4g-sur-capital.html](http://www.lampe-led-4g.com/actualites-des-leds/led4g-sur-capital.html)

[www.led-fr.net](http://www.led-fr.net) site complet tenue par un mordu des LED

[www.museumsassociation.org/museum-practice/lighting/17012011-lighting-leds](http://www.museumsassociation.org/museum-practice/lighting/17012011-lighting-leds)

[www.strategies-u.com/articles/reports](http://www.strategies-u.com/articles/reports) Led Market

[www.wikipedia.org/wiki/Diode\\_%C3%A9lectroluminescente](http://www.wikipedia.org/wiki/Diode_%C3%A9lectroluminescente)

## Papier:

- Agence France Presse du 28.09.2011 sur Guy Cogeval
- Cahier Erco, lichtberich 92, Ludenscheid, Germany
- Cahier Gutes Licht für Museum n° 18, Frankfurt am Main 2011
- CIE RJS009:2002 «Photobiological safety of lamps and lamp systems ».
- Gateway Roundup, «Can Museum Measure Up ?», juillet 2011
- Georgia O’Keefe Museum in Santa Fé, lettre de mars 2010
- Getty Conservation Institute « Journal of Light and Visual Environment » n°4 vol.32 2008
- Livre «The museum environment», Thomson, G. ,1986 London
- Monde Planète, L’ampoule LED par Terra Eco du 7.12.2009
- National Pacific Northwest Laboratory dans un symposium sur « Solid-State Lighting for Museums » 2010
- Revue Bilan du 5 octobre 2011 de Pascal Vermot
- Revue Electroniques, article de Pascal Coutance, janvier 2010, Paris
- Revue Electroniques, article de Pascal Coutance, mars 2011, Paris
- Revue Energiefachbuch, LED-Museum, Uni Zurich 2009
- Revue Flash 2010 sur Walter A. Ziegler directeur de CEO TridonicAtco 6851 Dornbirn – Austria
- Revue Suisse Energie du 18.11.2010