

Documentaire

# Diodes électroluminescentes



<b>Date :</b>	<b>le 27/01/2009</b>
<b>Auteur :</b>	<b>Roger Oulevay</b>

**Table des matières :**

	<b>Page</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Description et présentation de la LED .....</b>	<b>3</b>
2.1. Historique .....	3
2.2. Classement des différentes LED .....	3
<b>3. Domaine d'utilisation .....</b>	<b>4</b>
3.1. Décoration .....	5
3.2. Eclairage .....	5
3.3. Transmission de donnée .....	6
3.4. Signalisation .....	6
<b>4. Mécanisme d'émission .....</b>	<b>7</b>
4.1. Structure .....	7
4.2. Fonctionnement .....	8
<b>5. Technique de fabrication .....</b>	<b>10</b>
<b>6. D'un point de vue énergétique .....</b>	<b>11</b>
<b>7. Perspectives d'avenir .....</b>	<b>12</b>
7.1. L'aide au pays pauvre .....	12
7.2. Evolution futur .....	12
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>12</b>

## 1. Introduction

Ce documentaire présente les LED en décrivant leurs structures, les utilisations que l'on peut en faire, ainsi que les perspectives d'évolution future. Un historique de son évolution va permettre de situer l'époque de son apparition et de ses différentes évolutions. La fabrication et le principe de son fonctionnement seront traités de manière plus détaillée que le reste, car d'un point de vue technique les LED sont très intéressantes.

## 2. Description et présentation de la LED

La LED vient du mot anglais « Light-Emitting Diode » qui veut dire en français « diode électroluminescente » (DEL) c'est un composant électronique qui fonctionne de la même manière qu'une diode standard. A savoir qu'elle conduit le courant dans un sens, créant une légère chute de tension, et bloque le courant de sens opposé. Ce qui la différencie d'une diode normale est que lorsqu'elle conduit le courant, elle émet de la lumière.

### 2.1. Historique

C'est durant la guerre froide que la LED fit son apparition. En effet c'est en 1962 que la première diode électroluminescente rouge fut créée par Nick Holonyak Jr. et Sam Bevacqua de la compagnie General Electric (GE). Ce fut la première à émettre un faisceau lumineux dans le spectre visible par l'œil humain. Cependant bien avant cela fut découvert l'émission d'un faisceau lumineux par un semi-conducteur, en 1907 par Henry Joseph Round. Puis en 1955 l'émission d'un faisceau infrarouge à partir d'un semi conducteur basé d'arséniure de gallium (GaAs) ainsi que d'autres semi-conducteurs.

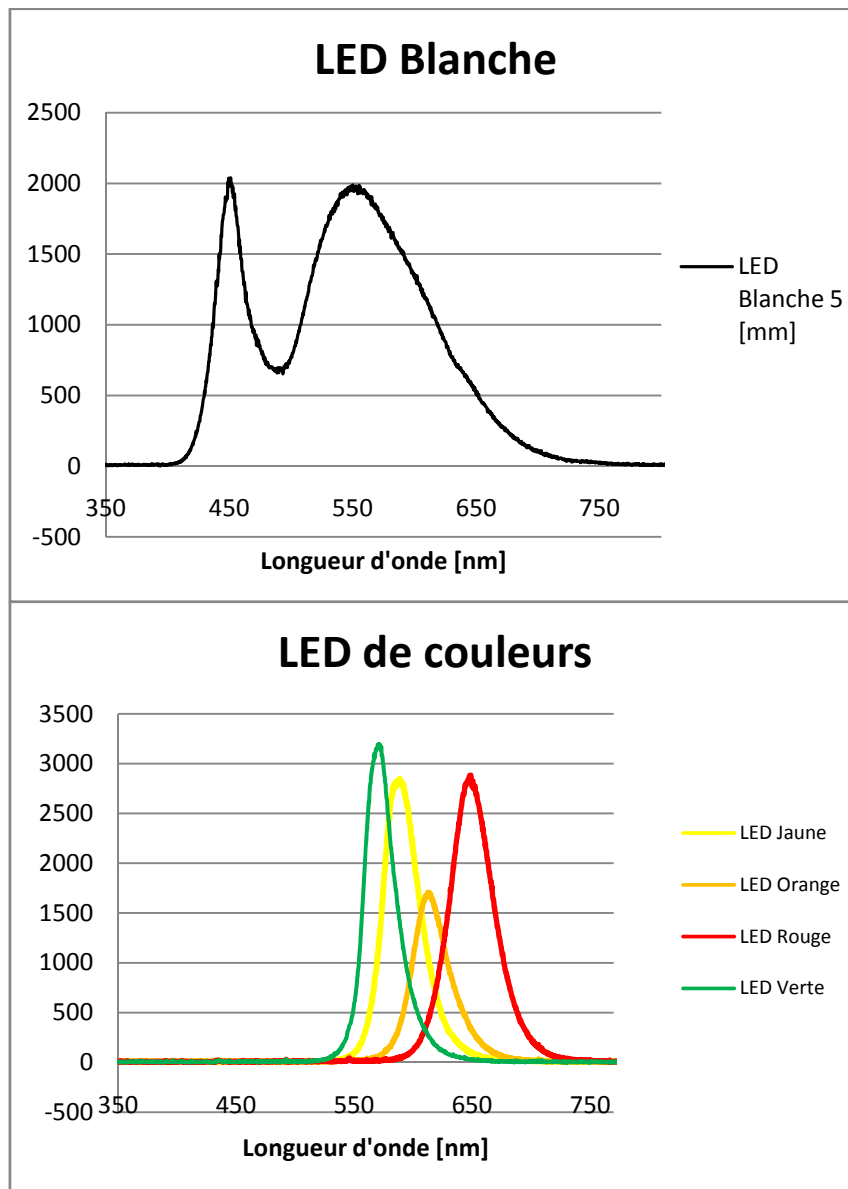
A cette époque, on pensait pouvoir se limiter qu'aux trois couleurs principales, vert, jaune et rouge, mais la LED bleue fit son apparition en 1990 grâce à son créateur Dr. Shuji Nakamura.

### 2.2. Classement des différentes LED

On peut différencier les LED par leur puissance. Celle que nous voyons le plus souvent ne dépasse pas 1 [W] de puissance, on les trouve très souvent dans des applications de signalisation sur des coffrets électriques ou encore dans les appareils électroménagers. Les LED dépassant 1 [W] sont beaucoup moins répandue, mais commencent à prendre une place importante dans la vie de tous les jours, elles servent principalement à l'éclairage. Par exemple pour les flashes d'appareil photo sur les téléphones portables, ou encore la nouvelle génération de phares pour l'automobile.

Elles peuvent aussi être classées par différence de spectre d'émission, d'un côté les LED de couleur qui émettent des spectres quasi monochromatique, la spectrographie montre un pic de largeur de bande très faible autour de la longueur d'onde correspondante à la couleur en question, et les LED blanche dont le spectre est formé de plusieurs longueurs d'onde.

L'illustration suivante montre ces différences de spectre.



On voit que pour la lumière blanche, les longueurs d'onde de 400 à 700 [nm] sont excitées, tandis que pour les couleurs, c'est une zone de quelque nanomètre seulement autour de la longueur d'onde d'intensité maximale de la couleur.

### 3. Domaine d'utilisation

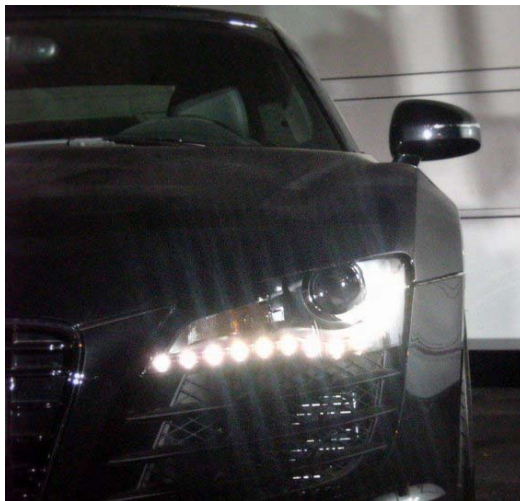
Les domaines d'utilisation de ces LED sont diverses. De la simple signalisation à l'éclairage pur, en passant par le type décoratif et la transmission de donnée.

### 3.1. Décoration



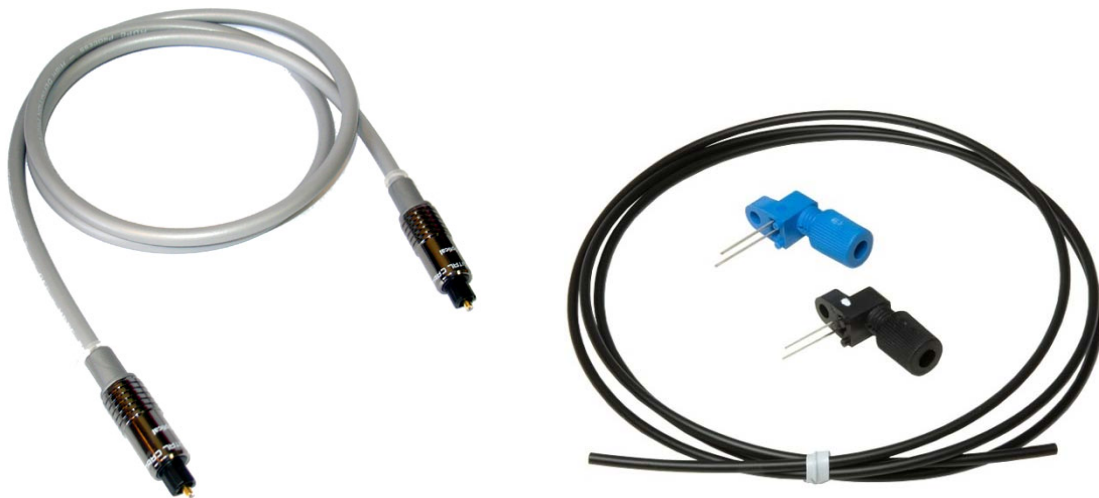
La nouvelle génération d'individus accorde de plus en plus d'importance à la perception, il faut que ce soit « tape à l'œil », l'industrie de l'accessoires connaît une croissance impressionnante. L'humain depuis la nuit des temps est attiré par tout ce qui se démarque de ce qu'il voit traditionnellement ceci d'autant plus si l'objet en question brille. C'est un commerce florissant principalement pendant les périodes de fête, où l'on se sent presque obligé de faire comme tout le monde pour ne pas passer inaperçu.

### 3.2. Eclairage



Les LED prennent une place importante depuis quelques temps dans ce domaine, la sortie de l'Audi R8, un des premiers modèles à être muni de phares à LED comme feu de position, bien plus efficace déjà que les ampoules à incandescence traditionnellement utilisées dont la puissance est de l'ordre de 5 à 10 [W]. L'éclairage public connaît aussi ce genre d'évolution, car de plus en plus on veut économiser l'énergie tout en gardant le confort habituel et la sensation de sécurité que procure un tel éclairage.

### 3.3. Transmission de donnée



La transmission de donnée par fibre optique est révolutionnaire, car la vitesse du flux lumineux est proche de celui de la lumière, considérant bien sur un facteur de correction du au matériau translucide utilisé et qui est déterminé par un indice de réfraction supérieur à celui de l'air ( $n_{\text{vide}} = 1 \approx n_{\text{air}}$  ;  $n_{\text{fibre}} \approx 1.5$ ). L'internet ainsi que la télévision est transmise par ce biais, mais est principalement utilisé dans les premiers étages de transmission dans le cas de longue distance, pour les gros flux d'information. Il peut donc sur les étages inférieurs repasser l'information au niveau électrique.

### 3.4. Signalisation



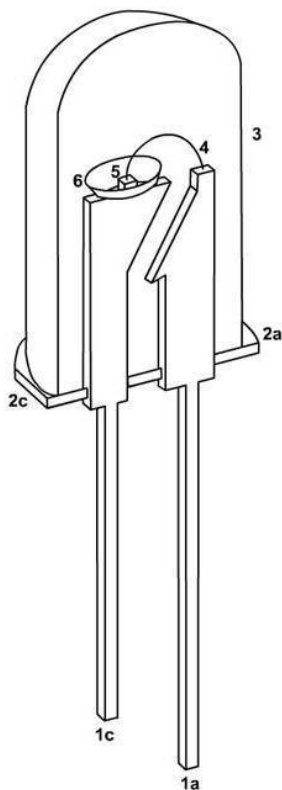
La principale utilisation jusqu'à il y a 10 ans était dans la signalisation, les voyants d'avertissement. A la base ces LED étaient surtout utilisées pour tester par exemple des états logiques d'un circuit électronique, n'ayant besoin que d'une information tout ou rien que l'homme peut vérifier avec ses propres yeux, cela permet de se passer de matériel compliqué donnant souvent trop d'informations inutiles (oscilloscope ou multimètre). L'atout principal est que ces composants n'étant pas forcément très onéreux peuvent être intégrés à vie sur le système, pour vérifier après coup si une panne survient et ainsi donne une indication plus directe du défaut en question. Voici l'importance que peut avoir une bonne signalisation.



## 4. Mécanisme d'émission

### 4.1. Structure

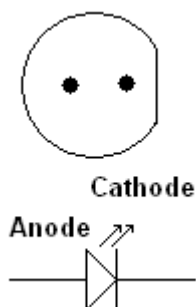
Cette illustration représente une LED vue en coupe, les échelles ne sont pas forcément respectées pour pouvoir distinguer toutes les différentes parties composant la diode.



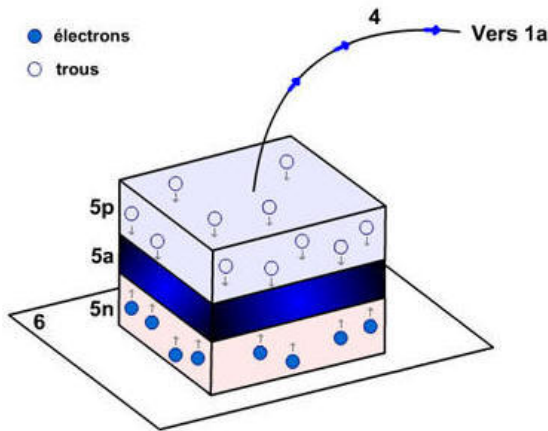
- 1 : Pattes d'alimentation de la LED
- 1a : Anode, se branche au + de l'alimentation
- 1b : Cathode, se branche au – de l'alimentation
- 2a : Bord de la LED arrondi
- 2b : Bord de la LED avec encoche de repérage
- 3 : Lentille (boîtier coloré ou translucide)
- 4 : Fils de « bonding » (liaison très fine en or, cuivre, ou alu.)
- 5 : Puce (émet de la lumière)
- 6 : Coupelle réflectrice (permet de diriger le flux lumineux)

Ce que l'on peut dire de plus, c'est que l'encoche, coté cathode, permet de repérer les pattes du composant, car lorsqu'elles sont coupées pour un soudage ultérieur, le technicien devant monter le composant aura l'information qu'il a besoin pour monter correctement son composant.

Voici une vue de dessus illustrant ce qui précède.



Cette illustration ci-dessous montre en détail les parties constituant la puce, dont la lumière perçue est issue.



- 4 : Fils de « bonding »
- 5p : Couche du semi-conducteur dopée P
- 5a : Couche active du semi conducteur
- 5n : Couche du semi-conducteur dopée N
- 6 : Coupelle réflectrice

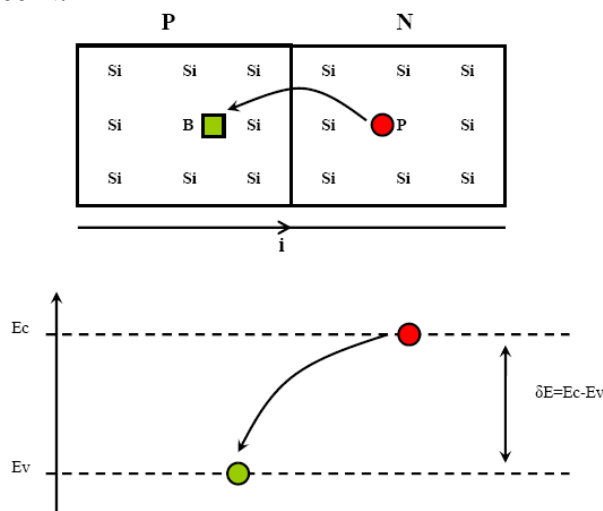
La couche dopée P veut dire que le matériau semi-conducteur a subi une transformation, il est désormais en déficit d'électrons, donc elle possède des trous permettant aux électrons de s'y placer.

La couche dopée N est donc l'inverse, elle contient un surplus d'électron qui auront tendance à se déplacer dans la partie dopée P pour combler les trous.

La couche appelée « active » va être une zone où le déplacement d'électron va pouvoir s'opérer.

#### 4.2. Fonctionnement

Dans la puce d'une LED le phénomène suivant se produit, lorsqu'un électron passe de la bande de conduction à la bande de valence, il franchit en réalité une bande d'énergie appelée interdite, c'est en franchissant cette bande qu'un photon est émis, donc sous forme d'onde lumineuse. L'électron ayant franchi ce niveau d'énergie va se recombiner avec un trou qui se trouve dans la zone dopée N.





En réalité les photons émis ne sont pas tous de la même longueur d'onde, mais il existe une dispersion autour de cette valeur, dépendante du matériau utilisé, que l'on peut quantifier et qui s'appelle largeur spectrale.

Le saut d'électron dans la couche dopée N engendre la création de trou dans la couche dopée P. Ces sauts surviennent lorsqu'une différence de potentiel assez élevée est appliquée aux bornes de ces deux plaques. Les électrons et les trous peuvent ainsi se recombiner une infinité de fois tant qu'une source d'énergie y est appliquée. On constate que de la lumière est émise. La différence de potentiel à appliquer va dépendre de l'alliage utilisé, ainsi que du dopage effectué.

Dans l'illustration précédente est utilisé un simple semi-conducteur en Silicium (Si) dont le dopage P se fait en ajoutant une impureté dans la structure du silicium, dans le cas présent des atomes de Bore (B). Le dopage N s'effectue de la même manière sauf que cette fois se sont des atomes de Phosphore (P) qui sont injectés.

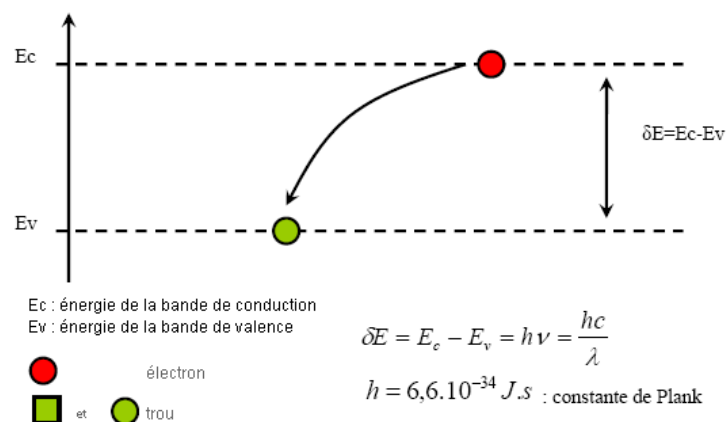
### Dopage P :

Le silicium a 4 électrons sur sa dernière bande, appelée bande de valence. Le bore n'a quant à lui que 3 électrons sur cette dernière bande. Se qui crée déjà un déséquilibre dans la structure du silicium, puisque 1 électron manque pour que la structure soit stable et la cohésion entre les atomes du matériau soit parfaite. Cela crée donc un trou, par conséquent une place pour un électron. D'autre exemple d'atome utilisé pour le dopage P : Aluminium (Al), Gallium (Ga), Indium (In). En général le silicium n'est pas utilisé comme cristal de base dans la fabrication des LED.

### Dopage N :

Maintenant dans l'autre couche, contenant une très petite quantité de phosphore, matériau dont la dernière bande contient 5 électrons, le fait que ce matériau contienne 1 électron de plus que les atomes de silicium de son voisinage, va donner naissance à un électron libre. Cet électron libre aura tendance à aller se combiner avec un trou (place libre pour un électron) lorsqu'une source d'énergie lui sera fournie. Un autre exemple d'atome utilisé pour le dopage N : l'arsenic (As).

C'est donc le déplacement de cet électron depuis sa bande de valence jusqu'à la bande de conduction de l'autre matériau qui va engendrer un photon, donc le dégagement d'une onde lumineuse.



## 5. Technique de fabrication

Il y a plusieurs types de dopages utilisés suivant le résultat que l'on veut obtenir. Le dopage chimique par exemple qui consiste à incorporer des atomes étrangers dans la structure du semi-conducteur, comme expliqué dans le point précédent. Il existe aussi un dopage physique, qui consiste à créer des imperfections dans la structure cristalline de type « lacunaire », « interstitielle » ou encore « dislocations ».

### Dopage physique par lacune :

Une lacune dans la structure va permettre de la déstabiliser. Une structure stable électroniquement veut dire que chaque atome échange ses électrons avec ses voisins, et chaque électron de la même manière dans tout le matériau. Une lacune va engendrer une modification dans le voisinage proche de cette dernière, et va altérer cette échange, vu que le nombre d'électron n'est plus le même par unité de surface, des électrons vont manquer, et donc des trous vont apparaître. Comme dans le dopage chimique vu ultérieurement, le résultat est quasi identique.

### Dopage physique par atome interstitielle :

L'ajoute d'atome interstitielle va, contrairement aux lacunes, surcharger le matériau au niveau quantité d'atomes, donc des électrons libres vont prendre naissance.

Les dislocations sont une succession de lacunes ou d'interstices, en grande quantité.

Ensuite la fabrication va être basée sur les propriétés que l'on veut obtenir, en fonction de la longueur d'onde émise par la LED par exemple, la puissance que l'on veut à disposition, la forme, le nombre de puce dans le même boîtier, la superposition de plusieurs puce pour obtenir des mélange de couleur qui ne sont pas directement issue d'une longueur d'onde pur.

Ce qui va déterminer la longueur d'onde émise par le composant est la largeur de bande interdite, dont dépend du matériau utilisé. On est capable à ce jour de reproduire toutes les valeurs de spectre lumineux grâce à la panoplie de matériau que l'homme à découvert, allant de l'ultra-violet jusqu'à l'infrarouge, en passant par le spectre visible par l'homme.

Pour l'infrarouge par exemple les matériaux le plus couramment utilisé sont l'arséniure de gallium (GaAs) pour le cristal de base et le silicium (Si) ou le zinc (Zn) comme dopant. Elles ont l'avantage d'être très économique et ne nécessite pas une grande tension d'entrée.

Un autre type de diode, cette fois-ci à l'arséniure de gallium-aluminium (AlGaAs), bien qu'elles demandent une tension d'entrée plus grande, elles offrent par conséquent une puissance de sortie plus élevée et peuvent émettre des longueurs d'onde plus courtes (< 950 [nm]) donc restent dans la limite de sensibilité des récepteurs en silicium pour une application dans la fibre optique par exemple dont l'évolution est en pleine effervescence.

## 6. D'un point de vue énergétique

Technology	SSL-LED 2002	SSL-LED 2007	SSL-LED 2012	SSL-LED 2020	Incandescent	Fluorescent
Luminous efficacy (lm/W)	25	75	150	200	16	85
Lifetime (kh)	20	>20	>100	>100	1	10
Flux (lm/lamp)	25	200	1,000	1,500	1,200	3,400
Input power (W/lamp)	1	2.7	6.7	7.5	75	40
Lumens cost (\$/klm)	200	20	<5	<2	0.4	1.5
Lamp cost (\$/lamp)	5	4	<5	<3	0.5	5
Colour rendering index (CRI)	75	80	>80	>80	95	75
Lighting markets penetrated	Low-flux	Incandescent	Fluorescent	All		

Exhibit 2.1 SSLLED roadmap recommendations (source: OIDA)

Le tableau ci-dessus montre les propriétés que nous sommes capable d'obtenir à ce jour ainsi que celle auxquelles nous devrions aboutir d'ici 2020 si la technologie concernant les semi-conducteurs poursuit une évolution constante, comme elle l'a fait jusqu'à aujourd'hui.

### **Rendement :**

La notion de rendement est un peu confuse concernant les LED car il y a plusieurs aspects à prendre en compte. Tout d'abord le rendement énergétique qui fait intervenir le flux émis et la puissance consommée. Il y a aussi le rendement lumineux faisant intervenir cette fois-ci le flux lumineux perçu et la puissance consommée par le composant. Mais lorsque l'on compare ces rendements avec ceux d'une lampe à incandescence il apparaît beaucoup d'ambiguïté et une grande quantité de facteurs différents entre en jeu lors d'une comparaison.

Les diodes émettent un flux lumineux dont la largeur du spectre est fine, donc peut être considéré comme totalement visible, la lampe à incandescence quant à elle n'a pas un rendement lumineux très bon, puisque la largeur de son spectre d'émission est très grande, donc la portion de ce spectre visible n'est qu'une partie du spectre total émis par la lampe. Ce qui fait que la partie restant n'est pas désirable, on comprend ici le rayonnement thermique et les possibles émissions infrarouge.

Cette partie ne va donc pas être développée d'avantage, puisque il persiste encore des doutes concernant les différents aspects intervenant dans la comparaison entre plusieurs types de sources lumineuses.

## 7. Perspectives d'avenir

### 7.1. L'aide au pays pauvre

Des études effectuées au Népal et au Sri Lanka ont permis de démontrer qu'avec une éolienne de puissance modeste serait capable d'éclairer tout un village d'environ 700 habitants. Par exemple une éolienne de 100 [W] suffit à éclairer 60 habitations équipée de LED blanches blanches de 0.1 [W], ce qui veut dire qu'un tel village consommerait l'équivalent de se que consomme une seule ampoule à incandescence traditionnelle de 100 [W]. L'utiliser à ces fins là présenterait d'énormes économies d'énergie.

### 7.2. Evolution futur

L'évolution des LED est loin d'être terminée, étant des composants optoélectronique, elles évoluent de manière semblable aux microprocesseurs qui suivent la loi de Moore. Les LED double leur flux lumineux tout les 18 à 24 mois il est donc aisé de déterminer les performances à venir.

## 8. Conclusion

Les points abordés dans ce documentaire n'ont pas été développés dans leurs limites, mais donne un bon aperçu de l'utilisation de ces LED ainsi que de leur fonctionnement. Le but de ce documentaire n'étant pas de décrire la LED dans ces moindres détails, il permet tout de même de comprendre différents aspects pas toujours abordés lors de discussions sur ce sujet.

La LED est une technologie qui a encore de l'avenir devant elle, et risque bien d'être remplacée certaines autres qui sont déjà bien enracinées dans notre vie actuelle.

## 9. Bibliographie

Wikipedia : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode\\_électroluminescente](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_électroluminescente)

Eclairons le futur d'une lumière nouvelle : <http://www.led-fr.net>

Images : <http://images.google.ch>

Yverdon, le 27 janvier 2009

Oulevay Roger