

Les leds blanches : la nouvelle lumière spéléo ?

Michel DEMIERRE

Groupe d'Etudes Techniques EFS / Groupe Spéléo Lausanne (Suisse)

Le terme de "led" commence à se répandre dans le milieu spéléo. Déjà certains ne jurent plus que par ce nouveau type d'éclairage, d'autres s'interrogent, d'autres enfin le rejettent en bloc regrettant à l'avance le temps des lampes à huile...

Mais de quoi s'agit-il précisément ? Cet article se propose d'éclaircir (!) la question, et montre que, sans être exempt de problèmes, l'éclairage à leds s'avère pour le moins pratique, écologique, et économique.

Rémy Limagne



*5 leds, 10 leds, acéto... "regardez-moi dans les yeux !"
Eblouissant non ?*

INTRODUCTION

Depuis peu, des lampes électriques utilisant la technologie des leds blanches sont apparues sur le marché. Les fabricants promettent des durées d'éclairage de centaines d'heures ! C'est pourquoi les spéléos se sont rapidement intéressés à ce type d'éclairage au nom barbare.

Une **led**, diode émettrice de lumière ou **Light Emitting Diode**, est une source lumineuse basée sur la technologie de la microélectronique. Le premier prototype de led a fonctionné en 1962 dans un laboratoire ; il émettait une lumière infra-rouge invisible de très faible intensité. La commercialisation de cet élément ne commença que 7 ans plus tard. Ces dernières années, des leds de toutes les couleurs, étant toutes plus performantes les unes que les autres, sont apparues. Elles sont utilisées comme indicateur dans la plupart des dispositifs électroniques, les feux de signalisation... Il faudra attendre plus de trente ans pour que des leds émettant de la lumière blanche soient développées. Une de leurs applications est le remplacement des ampoules à incandescence.



En spéléologie, la majorité des pratiquants utilisent l'éclairage à l'acétylène, produit à partir de carbure et d'eau. Cependant quelques personnes utilisent l'éclairage électrique, notamment les éclairages FX, que se soit par obligation (dans certaines grottes c'est le seul autorisé !) ou que soit pour profiter de la fiabilité de cet éclairage.

La Ledlampe : 20 leds en boîtier étanche, avec variateur d'intensité.

1. Avantages et inconvénients des leds.

Comme tout système, les leds ont leurs avantages et leurs inconvénients, dont voici une rapide énumération des :

Avantages :

- **Autonomie.** Une led consomme moins d'énergie qu'une ampoule à filament pour un éclairage équivalent.
- **Eclairage avec des piles quasi mortes.** L'efficacité de l'éclairage augmente avec la baisse de la tension ou du courant de polarisation. De ce fait, elles s'illuminent encore avec des piles qui ne font plus fonctionner une ampoule à filament.
- **Eclairage presque gratuit.** Le coût horaire d'une lampe à leds est plus de 10 fois moins important que celui d'une ampoule équivalente.
- **Utilisation comme lampe de secours.** Ses performances font qu'il est certain d'obtenir de la lumière, pendant toute la durée d'une expédition, même avec des piles usées.
- **Fiabilité.** Une led ne comporte pas de filaments fragiles.
- **Résistance aux chocs et aux vibrations.**
- **Durée de vie de la led de 100.000 heures !** Elles ne tombent virtuellement jamais en panne.
- **Lumière homogène.**

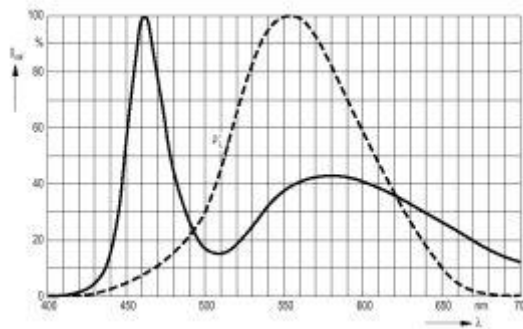
Inconvénients :

- **Lumière inhabituelle.** Leur couleur bleutée est moins " chaude ".
- **Focale fixe.** La lumière des leds est partiellement dirigée et sa focalisation est fixe. L'ouverture du pinceau lumineux est fixée lors de la fabrication de la led.
- **Ne chauffe pas.** L'éclairage électrique et tout particulièrement l'éclairage à leds ne dissipe pas assez de chaleur pour remplir cette fonction, contrairement à l'acétylène.

2. Fonctionnement des leds blanches.

L'élément servant à produire la lumière est un matériau semi-conducteur d'environ 1mm². La technique utilisée pour fabriquer les leds est similaire à celle des transistors et des microprocesseurs. Contrairement aux ampoules à filament, il s'agit d'un élément solide qui est, de ce fait, presque insensible aux chocs et aux vibrations. Cet élément est collé sur un support qui sert à la fois à sa fixation mécanique, à sa connexion électrique et de réflecteur. Il est ensuite connecté aux électrodes de la led via des fils très fins en or ou en aluminium appelés fils de bonding. Le tout est enrobé dans une résine transparente qui sert à la fois de protection et d'optique car une lentille convergente est formée par la surface bombée de la led.

L'élément semi-conducteur, transforme l'énergie électrique en radiations lumineuses bleues. Le principe physique fait que la lumière produite est monochromatique, c'est à dire d'une seule couleur, ce qui ne permet pas de retrouver la vraie couleur de ce qui est éclairé. Afin d'obtenir une couleur blanche, elle va éclairer un matériau phosphorescent à la surface de la led qui va absorber le bleu et l'émettre de nouveau sur tout le spectre visible, ce qui correspond à de la lumière blanche. La lumière bleue se situe à la limite de la réponse de l'œil, tandis que la phosphorescence se trouve dans la réponse maximale. La lumière ainsi émise ressemble un peu à celle du clair de lune.



Spectre lumineux d'une diode blanche et réponse physiologique de l'œil. Le pic vers 460 nm correspond à la lumière bleue utilisée pour l'excitation. Le Pic à 580nm est celui du matériau phosphorescent. La phosphorescence correspond à la réponse de l'œil, tandis que la lumière bleue est fortement atténuée par l'œil. Source : OSRAM Opto Semiconductors.

Les leds sont caractérisées principalement par les paramètres suivants :

- La couleur (rouge, verte, jaune, bleu, blanche, ...).
- L'encapsulation. C'est à dire le boîtier dans lequel se trouve le semi-conducteur. Les tailles standards sont T1¾ et T1 d'un diamètre de 5 et 3 millimètres, les 5 millimètres sont mieux adaptées pour nos éclairages. Il existe aussi des composants SMD de petite dimension ou encore des leds " géantes ".



Led T1¾ de 5mm de diamètre. L'anode, l'électrode connectée au pôle positif, est plus longue. Source : Datasheet Sloan [L5W54N].

- L'intensité lumineuse mesurée en Candela (actuellement 8000 mCd pour les meilleures à 20 degrés).
- La tension est le courant d'alimentation (3,6 volts 20 mA pour les leds blanches en GaN).
- L'angle d'éclairage (pour notre application spéléologique, l'idéal est 20 degrés).
- L'homogénéité de la lumière. La qualité de l'optique intégrée à la led permet d'obtenir un rayonnement très régulier.
- Le prix ! Il est, en petites quantités, d'environ 3,5 €, pour des leds de bonne qualité. Le prix des leds étant directement lié à leurs performances, les leds les moins chères sont souvent médiocres.
- Le lot. Les leds blanches sont testées et triées en fonction de leur couleur et de leur luminosité à la production.

3. Ampoule 5 leds pour la DUO de Petzl.

L'idée est de remplacer l'ampoule standard de la DUO de Petzl© par une ampoule à leds. La solution retenue consiste à polariser chaque led avec une résistance. En effet, une résistance constitue une mauvaise source de courant. Le point le plus négatif pour cette éclairage est le rendement, mais plutôt que d'avoir un bon rendement de l'électronique, choisissons de meilleures leds!

Une pile n'est pas une source d'énergie parfaite. Avec des piles standards ou alcalines de type LR6 (, il est inutile de vouloir utiliser plus de 10 leds en même temps. Une consommation trop importante de courant va faire écrouler les performances de la batterie. Pour l'éclairage DUO, le choix de 5 ou 10 leds suffit, ce qui correspond à un bon compromis entre durée d'éclairage et intensité lumineuse.



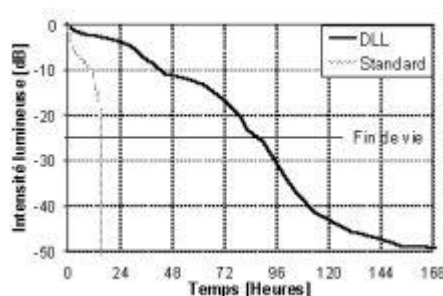
5 leds, triled à vis, 10 leds.

Il est préférable d'ajouter quelques composants pour protéger les leds, car elles sont légèrement sensibles à l'électricité statique (par exemple les étincelles que produisent les pulls en laine), mais ce n'est pas obligatoire.

Résultats :

Une très bonne comparaison entre les éclairages autonomes est la mesure de l'intensité lumineuse au cours du temps. La fig. 4 présente ce résultat pour l'ampoule standard de la DUO et l'ampoule à 5 leds décrite précédemment.

Les leds permettent donc une durée d'éclairage 5 fois plus grande qu'avec une ampoule standard, et cela avec une qualité de la lumière supérieure. La fin de vie est aussi bien moins brutale pour la lampe à led. De ce fait, la lumière diminue progressivement. Il est encore possible de se déplacer après une semaine d'éclairage en continu ! Avec une ampoule, l'intensité peut chuter en quelques minutes (parfois même moins !), alors que pour les leds la lumière diminue en quelques jours...

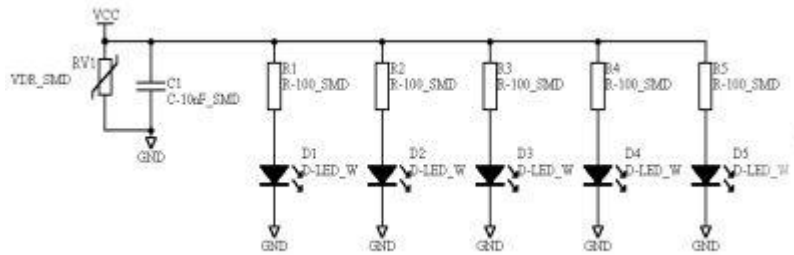


Comparaison d'une ampoule à 5 leds et de l'ampoule standard de la DUO. L'ampoule à leds fonctionne pendant plusieurs jours ! Lorsque les batteries arrivent à plat, une ampoule à filament provoque une chute en quelques minutes, de l'intensité lumineuse, tandis que les leds font encore durer l'éclairage pendant plusieurs jours... Source : DUO LEDLight TechTonique.

Améliorations

voici quelques idées afin d'améliorer un éclairage à leds :

- **Réflecteur externe.** Comme mentionné, chaque led possède déjà son propre réflecteur intégré. Il est cependant possible d'ajouter des réflecteurs extérieurs. Selon les tests, le gain est au maximum de 30% au détriment de l'homogénéité de la lumière et de la surface de l'ampoule.
- **Lentille.** Là aussi, une lentille est déjà présente sur chaque led. En ajoutant une lentille convergente, il est possible d'obtenir un faisceau plus focalisé. Pour cela, il faut utiliser une lentille par leds. Dans le cas d'une matrice de leds, l'alignement des leds et de la lentille est critique.



- **Electronique.** Pour l'ampoule DUO, on utilise une polarisation par des résistances. Une excellente amélioration consiste à y intégrer une alimentation à découpage pour augmenter le rendement et pour obtenir une intensité de lumière constante quelle que soit la tension de la pile, même avec des piles pratiquement épuisées, l'éclairage reste constant.

3. L'éclairage à leds peut-il remplacer le carbure ?

	Acétylène	20 leds, 4 piles LR14	
Faisons une rapide comparaison de ces deux types d'éclairage. Quelles sont leurs avantages et inconvénients? Nous avons comparé l'éclairage à acétylène et l'éclairage équivalent TechTonique basé sur 20 leds et 4 piles de type LR 14.	Poids	<p style="text-align: center;">😞</p> <p>Le poids de la calbombe ! >1000 grammes.</p>	<p style="text-align: center;">😊</p> <p>400 grammes. Le poids des piles et des accus diminue chaque année et les leds sont de plus en plus performantes!</p>
	Volume	<p style="text-align: center;">😞</p> <p>La calbombe : une gêne dans les cavités étroites. Environ 4 fois plus volumineuse que la boîte à piles.</p>	<p style="text-align: center;">😊</p> <p>La boîte à pile se porte sous la combinaison. Le rapport énergie/volume augmente chaque année ! Il est possible de porter la boîte à pile sous la combinaison.</p>
	Autonomie	<p style="text-align: center;">😞</p> <p>8 heures de lumière en faisant 3 pleins d'eau. La consommation de combustible est de : 50 g/heure sans compter l'eau. Il est presque impossible de réduire la flamme.</p>	<p style="text-align: center;">😊</p> <p>Environ 20 heures de lumière. La consommation de " combustible " est de : 14 g/heure. Il est possible de contrôler l'intensité de la lumière, et ainsi d'économiser les piles.</p>
	Qualité de la lumière	<p style="text-align: center;">😊</p> <p>Forte Intensité. Lumière chaude. Lumière non dirigée.</p>	<p style="text-align: center;">😞</p> <p>Lumière " bleutée ". Lumière légèrement focalisée et assez éblouissante.</p>
	Fiabilité et robustesse	<p style="text-align: center;">😞</p> <p>Souvent des problèmes ! Qui ne s'est pas retrouvé sans acéto... La flamme s'éteint dans les passages étroit, sous les cascades et sans raison.</p>	<p style="text-align: center;">😊</p> <p>Très robuste et très fiable ! Vous êtes sûr d'avoir de la lumière pour vous déplacer durant une centaine d'heures.</p>

	Chaleur	😊 Source de chaleur pour la tortue.	😞 Ne chauffe pas! Il faut prendre des bougies...
	Ecologie	😞 Des déchets qui sont trop souvent abandonnés dans les grottes. La fumée produite noircit les parois des grottes.	😞 Piles à recycler. Accus à recharger.
	Prix à l'achat	😊 Environ 100 € pour la calbombe et la lampe.	😞 environ 300 €
	Prix à l'utilisation	😊 >7 centimes/heures. Le carbure est de moins en moins utilisé... Certaines rumeurs non fondées parlent même de sa disparition.	😊 7-33 centimes/heures avec des piles. <3 centimes/heure avec des accus ! Que nous réserve l'avenir ?

Comme on peut le constater, de nombreux points parlent en faveur de l'éclairage à leds. Les deux seuls désavantages sont la particularité de la lumière et le fait qu'un éclairage électrique ne peut pas être utilisé pour se chauffer (faire la tortue).

Lorsque l'on compare l'intensité de la lumière, il y a une complète disproportion entre le poids et le volume de la calbombe et celui des piles. En utilisant des sources similaires, l'éclairage à leds seraient au moins dix fois meilleur en augmentant le nombre de leds. Il est donc tout à fait possible de rivaliser avec la lumière de l'éclairage à acétylène !



Laminoir... Plus de risque de noircir le plafond.

Ce qui précède montre donc qu'avec encore quelques améliorations techniques, l'éclairage à leds (ou plus généralement l'éclairage électrique) à de bonne chance de supplanter l'éclairage à l'acétylène... Surtout que de nombreuses découvertes vont encore permettre d'améliorer l'éclairage électrique, que ce soit au niveau des leds ou surtout des piles/accus, alors que le carbure sera toujours du carbure.

Pour finir cette comparaison, voici quelques idées fausses sur la lumière "bleutée" des leds:

- La lumière n'est pas agréable. L'adaptation à cette nouvelle lumière est très rapide et elle est au contraire très agréable à cause de l'homogénéité du rayon. L'impression d'une lumière bleutée disparaît très rapidement ; ce n'est qu'une question d'habitude. Après quelques heures à l'éclairage à leds, la lumière d'une ampoule paraît jaune et blafarde ! Ceux qui n'apprécient pas ce type de lumière peuvent se consoler en se disant qu'il n'y a rien de meilleur pour l'éclairage de secours !
- Cette lumière fatigue les yeux et écrase les distances. Ceci n'est qu'une question d'intensité lumineuse!

Se chauffer sous terre avec des bougies ?

Qui n'a pas déjà utilisé son acéto pour se chauffer sous terre en faisant la " tortue " ou encore la calbombe pour se chauffer les mains ? Ceci est un argument en défaveur de l'utilisation de l'éclairage électrique. Comment peut-on donc se chauffer sous terre sans carbure ?

En fait, une solution très simple et très efficace consiste à utiliser de simples bougies . Comparons ces deux types de "chauffage " .

L'éclairage au carbure produit deux sources d'énergie. La première lors de la réaction chimique entre l'eau et le carbure

et la deuxième lors de la combustion de l'acétylène. Si l'on étudie la réaction chimique, nous constatons que :

1 kg de carbure + 500 grammes d'eau -> 300 litres d'acétylène + une certaine quantité de chaleur (10% du total de l'énergie libérée) ; 90% de la chaleur est diffusée par la flamme. Total = 18000 kJ par kilo de carbure.

Maintenant comparons ce résultat avec la combustion d'une bougie. Le pouvoir énergétique de la bougie (stéarine) est de 34000 kJ/kg de combustible (une bougie pèse entre 20 et 70 g).

Sans tenir compte du poids de la calbombe et de celui de l'eau, la bougie est approximativement deux fois plus efficace que le carbure du point de vue du pouvoir énergétique.

Une simple bougie est donc une excellente solution comme source d'énergie pour se chauffer, surtout que sa fiabilité est quasi parfaite si l'on oublie pas les allumettes.

Il a été proposé par d'autres spéléo d'utiliser de l'alcool solidifié. Cette solution est aussi excellente du point de vue du pouvoir calorifique.

4. L'avenir...

Quelques indices sur les tendances des éclairages à leds :

- Des leds focalisées à moins de 10 degrés pour l'éclairage à distance. Cela permettrait de remplacer aussi les ampoules halogènes !
- De nouvelles leds blanches plus performantes, que ce soit pour l'intensité ou pour la couleur. Il existe des leds blanche à couleur " chaude " (elles émettent une couleur plus jaune, mais elles sont bien moins lumineuses pour le moment). En fait, ceci n'est en fait pas vraiment un avantage, car l'œil s'adapte très rapidement à cette lumière.
- L'évolution des accus et des piles. Elles pourront augmenter l'autonomie et diminuer le poids de la source d'énergie.



Pour ceux qui savent bricoler : boîtier 20 leds, don't 4 orientées vers le sol, 7 en faisceau concentré, 9 en éclairage large. Par "Cham", US Fontenay (94).

Les concurrents des leds

Les leds ne sont pas la seule solution afin d'améliorer un éclairage électrique, même si elles ont de nombreux atouts. Sur tous les éclairages à ampoules standard, il est déjà possible d'ajouter un régulateur à découpage permettant de faire travailler l'ampoule en légère surtension durant toute la vie de la pile. En effet, le point faible des ampoules est leur médiocre efficacité lorsque la tension d'alimentation diminue. Ceci est provoqué par la baisse de température du filament ce qui diminue l'intensité et déplace l'émission dans les rouges. Ce système ne permet pas de résoudre la fin de vie brutale de l'éclairage avec les ampoules à filaments lorsque les piles sont à plats.



Chouette ! Je ne brûle plus les cordes maintenant.

Les tubes fluorescents miniatures sont aussi un concurrent sérieux à cause de leur efficacité. Ils ont toutefois de sérieux désavantages à cause de leur fragilité, de leur volume important et de l'impossibilité de diminuer la luminosité en fin de vie des piles. Cependant, l'efficacité lumineuse des tubes phosphorescents est meilleure que celui des leds.

La prochaine révolution viendra peut-être des "ampoules à décharge" similaires à celles qui apparaissent sur certaines berlines luxueuses. Leur efficacité est impressionnante. A suivre...

Quelques avis d'utilisateurs :

Quelques réponses spontanées à la question : "Vous avez testé l'éclairage Leds, dites en une seule phrase ce que cela vous inspire".

- "Lorsque les parois sont claires, un éclairage 10 leds est tout à fait satisfaisant"
- "Pour équiper un puits, cela ne suffit pas, l'halogène de la Duo reste indispensable pour voir loin"
- "Finalement, oublier la banane de carbure ou péter sa calebonbe n'oblige plus à penser immédiatement au demi-tour"
- "Je ne connaissais pas le plaisir qu'on peut éprouver à ramper sans dudule ni tuyau, et sans avoir à rallumer la flamme à tout bout de champ"
- "Franchement ça brille ! A tel point qu'on ne peut pas regarder quelqu'un dans les yeux : pas très convivial"
- "Le gain de poids est conséquent, on remplace avantageusement 1kg de carbure par 1 litre d'eau à boire"
- "Plus besoin de déchauler, on sort tous à l'électrique"
- "Quand je pense que ma femme s'est barrée parce que la bagnole puait tout le temps l'acéto...!"
- "10 leds c'est bien ; 5 leds c'est assez bien ; mais trileds c'est pour les nains !"
- "Et une led supplémentaire ? A incandescence... pour allumer les clopes."

Conclusion.



Les leds sont réellement une nouvelle solution pour l'éclairage en spéléologie. Comparées à l'éclairage à l'acétylène, les leds permettent de remplacer la calbombe par une batterie plus légère, d'augmenter l'autonomie et surtout d'obtenir une grande fiabilité. La comparaison que nous avons effectuée démontre clairement les potentialités de ce type d'éclairage. A cause de leur propriété de fonctionner à faible courant, les leds sont une excellente solution pour l'éclairage de secours : Même avec une batterie " à plat " les leds s'illuminent encore. Ceci est particulièrement vrai pour l'ampoule à leds pour DUO qui a été présentée.

Mais où est donc la sortie ? Plus que trente heures d'éclairage...

Les leds se verront donc de plus en plus souvent sous-terre, jusqu'à ce qu'une technologie encore plus performante les détrônent. D'ailleurs, on annonce (IEEE spectrum, septembre 2002) que d'ici à 2005, le rendement d'une led devrait doubler, et même être multiplié par 6 en 2012...

Bibliographie

[OSRAM] Driving InGaN-Based LEDs in Parallel Circuits, Application Note, OSRAM Opto Semiconductors, 2000.

[L5W54N] L5-W54N-BS 5mm-LED white, Datasheet Sloan AG, 2001.

[NSPW500BS] Specifications for NICHIA white LED model NSPW500BS, Datasheet Nichia Corp.

[LT231] Tiny Regulators Drive White LED Backlights, Design notes 231, Linear Technology,, 2000.

[LT1932] LT1932, Constant-Current DC/DC LED Driver in ThinSOT, Datasheet, Linear Technology, 2001.

[MAX1698] MAX1698 High-Efficiency Step-Up Current Regulator for LEDs, Datasheet, MAXIM.

[GIB] Improvements to Caving Lamps, David Gibson, BCRA Cave Radio & Electronics Group, Journal 33, 1998.

Spelunca n°83 - 2001 - Groupe d'études techniques EFS : "Du carbure de calcium à l'acétylène"

Avec la complicité, pour les photos, du club spéléo des quatre jeudis (93)