

# Le livre blanc des lampes à LEDs.

par Henry Schneiker, [www.HdsSystems.com](http://www.HdsSystems.com), 10 mars 2004

Article paru dans : « Speleonics » N°24 Vol. VI #4, août 2004

Traduction : Dominique ROS, <http://souterweb.free.fr/>, mars 2017

Les « NDLR » sont du traducteur.

Une lampe (frontale, torche) conçue autour d'une LED peut offrir des avantages significatifs par rapport à la même lampe de poche utilisant une ampoule à incandescence ou tout autre dispositif électroluminescent. Dans cet article, je vais aborder les aspects lumineux, électriques, thermiques, optiques, mécaniques et d'interface de la conception de la lampe à LED ainsi que la façon dont le système visuel humain s'adapte à différentes conditions d'éclairage. Bien que certains aspects de ce document soient quelque peu techniques, même une personne non avertie sera en mesure d'acquérir une meilleure compréhension des questions et des compromis impliqués dans la conception d'une lampe à LEDs.

Par nécessité, cet article parle de dispositifs spécifiques. Cependant, je ne mentionne aucun fabricant ou référence de pièce spécifique parce que cette information n'a pas d'importance dans la discussion. Comme avec n'importe quel projet, vous devrez adapter votre conception aux pièces réellement disponibles- en tirant profit de leurs capacités et en étant attentif à leurs limites.

## • La diode

La LED est une diode électroluminescente. Une diode est un dispositif qui laisse passer le courant dans le sens direct tout en le bloquant dans le sens inverse. Lorsque le courant passe à travers une LED dans la direction correcte, la LED émet de la lumière. La couleur de la lumière émise dépend du matériau et de la construction de la diode. La quantité de lumière varie de façon approximativement linéaire avec la quantité de courant traversant la LED, ce qui nous fournit un moyen pratique de modifier facilement la quantité de lumière émise.

### Ceramic COB LED color Bin

Nominal	Bin Code	X	Y
5000K	6A	0.3373	0.3554
		0.3457	0.3622
		0.3463	0.3687
		0.3376	0.3615
	6B	0.3371	0.3492
		0.3452	0.3557
		0.3457	0.3622
		0.3373	0.3554
	6C	0.3368	0.3431
		0.3446	0.3492
		0.3452	0.3557
		0.3371	0.3492
	6D	0.3366	0.3369
		0.344	0.3427
		0.3446	0.3492
		0.3368	0.3431
	6E	0.3457	0.3622
		0.3542	0.3692
		0.3551	0.376
		0.3463	0.3687
	6F	0.3452	0.3557
		0.3533	0.3624
		0.3542	0.3692
		0.3457	0.3622
6G	0.3446	0.3492	
	0.3524	0.3555	
	0.3533	0.3624	
	0.3452	0.3557	
6H	0.344	0.3427	
	0.3515	0.3487	
	0.3524	0.3555	
	0.3446	0.3492	

Les LEDs sont des dispositifs à l'état solide et donc très fiables. La durée moyenne avant la panne est souvent donnée pour plus de 100 000 heures de fonctionnement dans les conditions spécifiées. Les LEDs sont donc beaucoup plus fiables que les ampoules à incandescence encore omniprésentes et que vous trouveriez normalement dans une lampe de poche classique. La LED peut également tolérer des chocs et des vibrations beaucoup plus élevées que d'autres sources de lumière communes comme les ampoules à incandescence, les tubes fluorescents et autres lampes à arc. Mais, aussi bonnes les LED soient-elles, elles ne sont pas parfaites.

La question la plus importante du point de vue de leur fabrication est la variabilité des LEDs. Lorsque les LEDs sont usinées, un effort considérable est fait pour obtenir que toutes les LEDs soient identiques. Cependant, même sur une plaquette, il ya énormément de variation d'une LED à l'autre. Les variations sont si importantes que la fabrication doit tester toutes les LEDs et les trier en plusieurs lots. Les critères de tri les plus courants sont la couleur, la quantité de lumière émise (flux) et la tension directe de fonctionnement.

Donc, pour obtenir des résultats de production cohérents quand vous commandez les LED tout ce que vous auriez à faire serait

de spécifier le lot que vous voulez ? Hélas, non. Pour illustrer pourquoi, jetons un coup d'œil plus précis à ce que les « bin ranks » signifient réellement [*NDLR : voir en illustration un extrait de table de classement de LEDs par couleur*].

Si vous prenez un lot de LEDs blanches et que vous convertissez les coordonnées CIE  $x$   $y$  des coins de la table en valeurs CIE  $L^*a^*b^*$  où chaque nombre entier est approximativement une nuance de couleur ou de luminosité, alors vous constaterez que même un petit nombre de LEDs peut avoir 13 nuances de couleurs distinctes en diagonale à travers le lot [*NDLR :  $x$  et  $y$  sont deux nombres qui définissent la couleur de la lumière dans le système établi en 1931 par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)*].

Un nombre de LEDs plus important peut facilement avoir plus de 30 nuances de couleurs distinctes en diagonale à travers le lot. Cela signifie que si vous prenez deux LEDs à partir des coins diagonaux opposés d'un même lot et les visualisez côte à côte, vous verrez que la lumière blanche étant émise par chaque LED possède une nuance de blanc différente. En outre, les utilisateurs trouvent souvent certaines nuances de blanc plus agréables que d'autres, les nuances les plus proches de la courbe de température du corps noir étant souvent les plus appréciées. [*NDLR : Le corps noir est une source de lumière théorique dont le spectre lumineux est donné par une formule appelée la loi de Planck. La lumière solaire directe en milieu de journée est approximativement celle du corps noir à 5800 K. La lumière standard a été définie comme le rayonnement du corps noir à 2855.5 K. Elle est fournie par une lampe au tungstène convenablement réglée.*]

Une situation similaire se produit lorsque l'on regarde la quantité de lumière fournie (le flux) pour un courant et une tension directe donnés. Un groupe typique peut couvrir une plage de flux de  $n$  à  $1,3*n$  et une plage de tension variant de  $1,1v$ . Lorsque les deux sont combinés, dans le pire des scénarios, cela peut produire une différence de 40% de l'efficacité globale dans un même lot. Cette différence peut être distinguée facilement si vous comparez les deux lumières côte à côte.

Si un utilisateur compare deux LEDs et voit une différence visible à l'œil nu, il supposera généralement que l'une des deux LEDs est défectueuse. Il faut rapidement informer les acheteurs de l'existence de ces variations de production car des différences significatives entraînent souvent un mécontentement et des retours de clients. Il ya, bien sûr, une explication mathématique à cela. La distribution réelle dans le lot est de nature statistique et la probabilité pour que deux lumières présentant une différence suffisante soit remarquée par le client est également statistique.

La variation d'une unité à l'autre est beaucoup plus élevée pour les LEDs que pour la plupart des autres sources lumineuses. Certaines de ces différences peuvent être réduites par un processus d'étalonnage. Cependant, il pourrait être plus facile si vous avez plusieurs lignes de produits de trier soigneusement les LEDs pour chaque modèle - ce qui réduit les variations intra-modèle.

Les LEDs ont un autre problème notable. Une LED devient moins efficace quand vous augmentez la puissance et la température.

De plus, comme les LEDs ont un coefficient de température négatif, plus elles sont chaudes, plus elles nécessitent de puissance. Cela les rend instables et sujettes à l'emballement thermique, sauf si une attention particulière est accordée à la façon dont elles sont pilotées. En outre, des températures élevées augmenteront la vitesse de perte de lumière (diminution graduelle et permanente de la luminosité) au-delà du taux moyen de 3% par 1000 heures de fonctionnement.

Lorsque je parle de LED haute puissance, je me réfère aux LEDs qui sont conçues pour fournir un ou plusieurs watts de puissance continue par LED. Cependant, les mêmes principes peuvent souvent être appliqués aux LEDs de faible puissance ou aux groupes de LEDs de faible puissance. Les LEDs haute puissance fournissent typiquement une impédance thermique assez basse qui peut être couplée à un dissipateur de chaleur efficace pour minimiser la température de jonction des LED. Tous les efforts doivent être faits pour garder les LEDs froides pour une efficacité maximale. Si les LEDs sont pilotées à des

niveaux de puissance élevés dans des conditions où une dissipation thermique efficace n'est pas possible, elles doivent être protégées thermiquement pour assurer un fonctionnement fiable.

Et enfin, lorsque vous diminuez la puissance d'une LED en réduisant le courant fourni, la LED subit souvent un changement de couleur significatif. L'importance du changement de couleur dépend de chaque LED. Cet effet est plus perceptible à un observateur humain avec des LED blanches. Ce qui se passe, c'est que lorsque le courant chute, la fréquence lumineuse dominante diminue également. L'importance du décalage de fréquence est assez variable d'une LED à l'autre et un fabricant fait rarement des tests à ce sujet. Avec les LEDs blanches, la fréquence dominante (bleue) est utilisée pour exciter un luminophore qui réémet à l'extrémité inférieure du spectre pour fournir du jaune, de l'orange et du rouge. Au fur et à mesure que la fréquence diminue, la dominante bleue se déplace vers le vert, réduisant ainsi la fréquence bleue nécessaire pour la conversion en jaune, orange et rouge, de sorte que la couleur vire au vert. Le seul moyen d'éviter cela de façon fiable est de toujours faire varier la puissance d'une LED dans la plage d'utilisation recommandée.

- **L'alimentation**

Le but de l'alimentation électrique est de fournir du courant régulé à la LED et d'assurer un environnement d'exploitation stable.

L'alimentation électrique peut varier d'une simple source de tension en série avec une résistance - comme une batterie avec ou sans résistance supplémentaire - jusqu'à un système sophistiqué à découpage entièrement régulé à puissance constante et régulation thermique incorporée. Les caractéristiques de l'alimentation affectent directement le coût et la stabilité de la lumière fournie.

Les LEDs ont une courbe  $V_f / I_f$  abrupte (**NDLR** : *tension en Volts sur courant en mA*). Cela signifie qu'une légère modification de la tension directe ( $V_f$ ) aura un effet relativement important sur le courant direct ( $I_f$ ). De plus, cette courbe est différente pour chaque LED. Si l'on considère que les LEDs sont toutes d'un même lot et que la tolérance pour  $V_f$  est de 10%, la puissance consommée par ces LEDs peut varier de  $n$  à  $2n$  si elle est alimentée avec une tension constante.

Comme je l'ai mentionné plus tôt, une LED a un coefficient thermique négatif. Cela signifie que la tension  $V_f$  diminue avec l'augmentation de la température. À une tension d'alimentation constante, l'augmentation de la température diminue légèrement  $V_f$  mais accroît le courant d'une valeur relativement importante provoquant une augmentation nette de puissance et donc une nouvelle montée en température.

Pour une courbe thermique donnée, il y a un niveau de puissance à partir duquel le transfert de chaleur ne peut pas maintenir longtemps l'accroissement de l'intensité et la baisse de la tension. L'emballement thermique en est le résultat et il détruira la LED si rien ne limite la puissance à des niveaux plus sûrs.

La régulation du courant ou de la puissance traversant une LED empêche efficacement l'emballement thermique. La régulation de la puissance d'une LED a en outre l'avantage de fournir une meilleure régulation de la luminosité sur une large plage de température. Un bon circuit de régulation gardera la luminosité de la lampe constante pendant toute la durée de vie de la batterie. Les deux systèmes peuvent inclure une régulation thermique pour empêcher, pour un réglage de puissance élevé, une accumulation de chaleur dangereuse si le refroidissement est insuffisant.

Une lampe à connexion directe, c'est-à-dire ayant des piles en série avec la diode électroluminescente, avec ou sans résistance supplémentaire, - donc sans driver électronique - ne peut pas fournir une luminosité constante. Le graphe luminosité / temps de ce type de lampe montre une courbe descendant lentement. C'est parce que la tension de la batterie baisse régulièrement et donc la puissance lumineuse de la LED aussi. Il faut préciser que dans le premier quart de la vie de la batterie, la luminosité baisse de façon significative. Dans ce cas, la durée de vie de la batterie est définie comme le temps nécessaire pour que la luminosité chute à 25% de la valeur d'origine avec des piles neuves.

Un autre problème avec les lampes à connexion directe est que la puissance à travers la LED peut être à des niveaux dangereusement élevés jusqu'à ce que la résistance interne de la batterie augmente suffisamment pour limiter la puissance à des niveaux plus sûrs. En conséquence, les lampes à connexion directe sont généralement moins fiables en raison d'un taux de panne des LEDs plus élevé.

L'efficacité d'un système est liée à l'efficacité de chacun de ces éléments. Dans une lampe à LED typique, vous avez une batterie, une alimentation (ou un régulateur électronique – driver -) et une LED. L'efficacité de la batterie diminue lorsque la puissance augmente. La plupart des alimentations et des LEDs ont un point optimal où elles sont les plus efficaces et deviennent moins efficaces à des réglages de puissance plus élevés ou plus faibles. Ce point optimal est souvent d'environ 10 à 20% de la puissance nominale. En général, l'augmentation de l'efficacité de la batterie aux réglages de faible puissance compense largement la baisse de l'alimentation et de l'efficacité de la DEL. Le résultat final est qu'il y a peu ou pas de diminution visible de l'efficacité totale pour ces réglages de faible puissance [**NDLR** : donc un excellent rendement].

À des réglages de puissance plus élevés, on peut observer un effet combiné qui diminue l'efficacité totale d'une manière non linéaire - souvent plus rapide que N au carré. La cause principale de cette chute rapide de l'efficacité (variant comme  $I^2 * R$ , c'est-à-dire courant au carré fois résistance) ce sont les pertes constatées tout au long du circuit, surtout là où se situent les courants élevés. Une autre source de perte importante dans une alimentation à découpage est habituellement la saturation en énergie de la bobine (inductance). Au final, à mesure que la température de la jonction de la LED augmente, son efficacité diminue.

Les batteries ont une grande influence sur la conception d'une lampe parce qu'elles fournissent l'énergie. Les piles alcalines développent une résistance interne élevée lorsqu'elles sont utilisées. Par conséquent, les piles alcalines ne sont pas bien adaptées aux applications à courant élevé car une grande partie de leur puissance sera perdue en raison de la résistance interne - dissipée sous forme de chaleur -. En outre, les piles alcalines cessent de fournir des quantités utiles d'énergie quand la température descend au dessous du point de congélation, ce qui les rend inappropriés pour les environnements froids. Les piles au lithium (avec de nombreuses chimies associées différentes) ont une résistance interne assez faible tout au long de leur vie et fonctionnent à des températures bien en dessous du gel. L'économie des piles au lithium a évolué au point qu'elles sont maintenant à un coût comparable aux piles alcalines, ce qui en fait le premier choix de batteries pour la plupart des applications de lampe à LEDs.

Lorsque vous utilisez des batteries rechargeables, vous devez faire attention à ne pas trop les décharger : le déchargement excessif des batteries pouvant les endommager ou les détruire. Lorsqu'une alimentation à découpage est utilisée, la batterie peut être excessivement déchargée avant que le flux de lumière émise chute de façon notable. Une lampe devrait donc détecter les batteries rechargeables et les empêcher d'être sur-déchargées. En outre, les batteries rechargeables au lithium contiennent souvent un circuit de protection spécial qui déconnecte la batterie pour éviter les excès de décharge accidentels ce qui provoque alors une obscurité instantanée. Une fois le circuit de protection coupé, seule une recharge de la batterie, permettra de rallumer la lampe. Une bonne lampe devrait donc détecter une batterie rechargeable au lithium et empêcher que celle-ci ne s'éteigne en vous laissant soudainement dans l'obscurité.

Lorsque vos batteries approchent de leur fin de vie, une lampe devrait vous le signaler et réduire la luminosité automatiquement. Vous devriez être averti que les batteries sont en fin de vie afin que vous puissiez trouver un endroit sûr pour les changer. Si vous ne pouvez pas changer les accus, la lampe devrait continuer à fournir de la lumière aussi longtemps que possible, suffisamment longtemps pour vous permettre de revenir en sécurité et les remplacer par des accus neufs. Même si cela vous prend un jour ou deux. Une fois que vous savez que les batteries sont en fin de vie, vous devriez être en mesure de réduire manuellement la luminosité supplémentaire pour faire durer l'électricité restante encore plus longtemps.

- **L'optique**

La LED émet de la lumière dans toutes les directions. Un système optique est utilisé pour recueillir la lumière et la façonner en faisceau.

La LED elle-même possède une lentille intégrée. Cette lentille est limitée dans sa capacité à rassembler et à façonner la lumière dans un faisceau acceptable et les fabricants de LED offrent seulement un nombre limité de lentilles optionnelles. Un système optique composé uniquement de la lentille intégrée dans la LED peut produire des résultats acceptables pour les lampes peu coûteuses, mais pour obtenir des résultats de meilleure qualité, un système optique plus avancé est nécessaire.

Un réflecteur parabolique peut théoriquement générer un faisceau de rayons lumineux parfaitement parallèles de la même taille que l'ouverture de sortie (le diamètre à l'extrémité ouverte de la parabole), à partir d'une source ponctuelle de lumière placée au point focal. Un certain pourcentage de la lumière de la source ponctuelle ne sera pas incorporé dans le faisceau parce qu'il ne rencontre jamais la surface du réflecteur.

L'angle solide qui coupe la parabole (demi-angle) par rapport à l'angle solide sphérique total est utilisé pour définir l'efficacité de capture du réflecteur. Plus cet angle est faible, plus l'efficacité de capture est élevée et plus le faisceau lumineux est puissant, toutes autres choses mises à part.

Dans un réflecteur réel, il ya des imperfections qui ont tendance à disperser le faisceau lumineux. Premièrement, votre source de lumière n'est jamais une source ponctuelle - c'est toujours une surface tridimensionnelle complexe. Deuxièmement, la surface du réflecteur n'est jamais parfaitement lisse ou exactement de forme parfaite. Cela conduit à des erreurs angulaires qui tendent à étaler le faisceau. En concevant et en contrôlant les erreurs angulaires, vous pouvez façonner la distribution de lumière (la forme du faisceau) en fonction de vos objectifs. Les réflecteurs pouvant fournir des faisceaux de la plus haute qualité donnent le rendement global le plus élevé.

Une lentille transmissive, comme une loupe classique, utilise la réfraction pour obtenir un résultat similaire. Au lieu de réfléchir la lumière sur une surface, la lumière est déformée à l'interface air / lentille. Les lentilles transmissives présentent trois inconvénients principaux.

Tout d'abord, elles ont une efficacité de capture relativement faible : toute lumière qui tombe en dehors de l'ouverture est perdue. Deuxièmement, comme l'angle entre la surface de la lentille et la source de lumière s'écarte de la perpendiculaire, une quantité croissante de lumière est réfléchi hors de la surface et perdue au lieu d'être captée et dirigée par la lentille. Troisièmement, la lentille projette une image de la surface émettrice : à cause de cela, le point focal de la lentille est normalement conçu pour ne pas se situer exactement sur la surface émettrice de sorte que l'image est floue.

Il existe également des optiques réflecteur-lentille mixtes qui combinent les propriétés des deux systèmes. Ces optiques utilisent souvent la réflectivité élevée de l'interface air / optique pour former la surface du réflecteur. Ces optiques sont en général plus efficaces et ont une meilleure qualité de faisceau qu'une lentille transmissive seule mais ne sont pas aussi bonnes que des réflecteurs purs. Cependant, ces optiques sont en général plus compactes que les réflecteurs seuls.

Une propriété intéressante des lentilles est qu'elles peuvent offrir tous les angles possibles. Etant donné que la même erreur angulaire produira le même résultat indépendamment de la taille, les seules limites à la petite taille sont la taille de l'émetteur et les tolérances de surface. En conséquence, une surface d'émission plus petite peut utiliser un système optique plus petit et produire le même motif de faisceau [**NDLR** : à petite LED petite lentille et à grosse LED grosse lentille]. Vous pouvez aussi, si vous le souhaitez, augmenter la taille du système optique pour réduire les erreurs angulaires et améliorer la définition du faisceau. Les variations sont donc infinies.

- **Le système visuel humain**

Si vous regardez la documentation marketing classique des lampes à LEDs commercialisées, vous pourriez penser qu'il sera toujours mieux d'avoir encore plus de lumière. Mais permettez-moi de vous montrer pourquoi ce n'est peut-être pas le cas.

Vos yeux peuvent s'adapter à une large gamme d'intensités lumineuses. À midi, un jour d'été, le soleil peut illuminer une surface jusqu'à 120 000 lux, tandis qu'une pleine lune peut illuminer la même surface à seulement 0,1 lux. Vos yeux utilisent trois méthodes principales pour s'adapter aux changements de niveaux d'éclairage. Dans des conditions de forte luminosité, vos yeux éliminent l'excès de lumière en fermant les pupilles. Lorsque le niveau de lumière tombe au-dessous du point où les pupilles sont complètement ouvertes, les yeux subissent un changement chimique pour augmenter la sensibilité des cônes (cellules sensibles à la couleur). Enfin, quand le niveau de lumière tombe au-dessous de la capacité des cellules à cônes, les bâtonnets (cellules insensibles à la couleur) prennent le relais et deviennent sensibles au maximum. Il faut environ 20 minutes après avoir quitté une zone lumineuse intense pour s'adapter complètement à la pénombre.

Alors, de combien de lumière avez-vous réellement besoin pour effectuer une tâche ? De 1 000 à 2 000 lux sont recommandés pour les travaux de précision où l'acuité visuelle maximale et la reconnaissance des couleurs sont requises. 100 à 200 lux conviennent à la plupart des travaux de bureau.

Avec 10 lux, les couleurs sont moins vives tandis que l'acuité visuelle est encore bonne. Avec 1 lux, les couleurs ne peuvent être distinguées et la vision est seulement acceptable. À 0,1 lux, aucune couleur n'est visible et l'acuité visuelle est médiocre. Enfin, pour 0,01 lux, l'acuité visuelle est mauvaise et vous distinguerez mieux les objets si vous ne les regardez pas directement.

Ce qui précède illustre qu'un flux de 50 à 200 lux d'éclairage est suffisant pour la plupart des tâches qui nécessitent une bonne reconnaissance des couleurs et une bonne acuité visuelle. Beaucoup moins de lumière suffit pour les tâches qui nécessitent seulement l'identification de la forme de l'objet.

Il faut un lumen - c'est à dire une candela par stéradian - pour éclairer un mètre carré (environ 10 pieds carrés) avec 1 lux. Notez que le flux lumineux - mesuré en lumens - est évalué selon la courbe de sensibilité des couleurs de l'œil humain. Cependant, le lux peut également être défini en termes de flux radiométrique à une fréquence unique et équivaut alors à 1,46 mW de puissance électromagnétique rayonnante par mètre carré à 555 nm (la couleur à laquelle vous êtes le plus sensible : une nuance de vert). La quantité de lumière éclairant un objet dépend donc de la puissance de la lumière émise et de la distance de la source lumineuse à l'objet.

Si vous connaissez la quantité de lumière qui illumine un objet à une distance donnée, vous pouvez calculer la quantité de lumière éclairant un objet à une autre distance en utilisant la loi du carré inverse. Par exemple, si vous doublez la distance entre la source et un objet, l'illumination tombe à un quart (4 est le carré de 2 et l'inverse de 4 est 0,25 ou un quart). Par exemple, si vous avez une lampe qui génère 500 lux à 1 mètre (un peu plus de 3 pieds), elle générera 100 lux à 2,2 mètres (environ 7 pieds) ou 10 lux à 7,1 mètres (environ 23 pieds) ou 1 lux à 22,4 mètres (environ 73 pieds). La chute de l'éclairage va de pair avec à une augmentation de la surface éclairée. En d'autres termes, vous avez besoin de 4 fois plus de lumière pour voir deux fois plus loin avec le même niveau d'illumination.

L'œil répond à la lumière de manière logarithmique. C'est-à-dire que pour que l'œil ressente une augmentation significative de la luminosité, c'est-à-dire une augmentation de la luminosité facilement reconnaissable, la quantité de lumière doit doubler. Pour faire face aux grandes variations de lumière dans votre environnement, c'est une chose merveilleuse. Pour les lampes essayant d'obtenir toujours plus de lumière, c'est un obstacle énorme, car il va falloir plus de deux fois plus de puissance pour générer deux fois plus de lumière tandis que l'autonomie de la batterie chutera à moins de la moitié en raison de l'augmentation des pertes citée plus tôt.

Par contre, si vous souhaitez augmenter l'autonomie de la batterie en utilisant des réglages de faible luminosité, c'est une bonne chose. Pourquoi ?

Pour chaque diminution incrémentielle de la luminosité, vous allez plus que doubler la durée de vie de la

batterie et après quelques minutes, vos yeux s'adapteront au nouveau niveau de luminosité de sorte que la baisse apparente de luminosité sera bien moins sensible. En réduisant la quantité de lumière en fonction de votre tâche, vous pouvez donc considérablement améliorer l'autonomie de votre batterie.

La réponse logarithmique de l'œil à la lumière impose que les niveaux de luminosité soient espacés de façon logarithmique. Autrement dit, l'étagement entre les paramètres de luminosité doit être d'un facteur constant - comme 2x - au lieu d'utiliser une approche linéaire. Cela donnera l'apparence de niveaux régulièrement espacés. Cette même méthode est utilisée dans l'industrie audio pour le contrôle de volume. En raison des caractéristiques adaptatives de l'œil, une variation continue serait inappropriée pour une lampe frontale. La raison en est que votre corps s'adapte rapidement à une hausse de la lumière, mais bien plus lentement pour faire l'inverse. Par exemple, si vous tentez l'expérience lampe allumée d'augmenter le niveau de puissance pendant une minute, puis de le ramener au niveau initial, l'impression de luminosité résultante sera alors généralement plus importante qu'avant de commencer l'exercice. Les facteurs humains ne doivent jamais être oubliés lors de la conception des réglages d'une lampe.

Concentrer toute la lumière en un étroit faisceau est intéressant pour regarder un objet à une grande distance. Cependant, le contraste entre le centre du faisceau lumineux et la zone sombre juste à l'extérieur du faisceau sera tellement grand que vous aurez de la difficulté à distinguer des objets juste à l'extérieur du faisceau – en conséquence, essayer de marcher en utilisant un tel faisceau peut être difficile ou dangereux. Un éclairage à usage général devrait fournir assez de lumière à l'extérieur du faisceau principal pour que vos yeux puissent se déplacer confortablement entre le centre du faisceau et les zones extérieures et ainsi appréhender une zone de visualisation large. Il est encore plus intéressant d'avoir une transition en douceur entre les deux domaines. Plus la zone de transition est large, plus le contraste est bas et plus vous serez en sécurité lorsque vous utilisez la lumière pour naviguer sur des terrains accidentés. Vous constaterez que vous pouvez utiliser moins de lumière totale avec un faisceau large et lisse. En fait, vous pourriez vouloir disposer de deux éclairages : l'une avec un faisceau large pour la marche et l'utilisation générale et une autre avec un faisceau étroit pour repérer les objets éloignés.

- **Interface utilisateur**

Comme vous l'avez peut-être constaté à la lecture de ce qui précède, il y a beaucoup à gagner à fournir à une lampe bien plus qu'un commutateur marche / arrêt. L'ajout d'un contrôle de luminosité est très utile. Permettre à la lampe de détecter automatiquement et de s'adapter aux différents types de batterie permettra une souplesse d'utilisation. De plus, il ya toujours quelques fonctionnalités supplémentaires qui seraient agréables d'avoir, telles que la signalisation d'urgence automatique, un moyen de retrouver la lampe dans l'obscurité ou un moyen d'éviter son allumage accidentel.

Dès que vous commencez à ajouter des fonctionnalités à une lampe frontale, vous augmentez la complexité de l'interface utilisateur - sans parler de sa conception et de son coût. Prenons par exemple l'ajout d'un contrôle de luminosité. Y aura-t-il un seul bouton poussoir (à impulsions), deux boutons (un pour augmenter et un pour diminuer), N boutons (un pour chaque niveau de puissance), un curseur linéaire ou un commutateur rotatif (pour contrôler la puissance) ? La commande de luminosité sera-t-elle intégrée à l'interrupteur marche / arrêt ou sera-t-elle séparée ? Avez-vous à vous soucier de rendre ces interrupteurs étanches à l'eau ou résistant à de mauvais traitements ? Combien y aura-t-il de niveaux de luminosité ? L'utilisateur aura-t-il accès à tous les niveaux de luminosité tout le temps ? La commande de luminosité fonctionnera-t-elle en variation continue ou étagée ? De combien les niveaux de luminosité seront-ils espacés ? Y a-t-il d'autres fonctionnalités qui auront besoin de réglages et comment vont-ils interagir avec le contrôle de la luminosité ?

Et comment l'électronique de la lampe détectera-t-elle la mise sous tension ? Bouton ON / OFF ? Changement de résistance ? Changement de capacité ? Changement d'inductance ? Accouplement mécanique ? Accouplement optique ? Accouplement magnétique ? Numérique ou analogique ?

Les possibilités semblent infinies.

Même s'il vous faut songer à tout ça, vous ne devriez jamais oublier que le but principal d'une lampe est avant toute chose de s'allumer et de générer de la lumière. Ainsi, cette fonction devrait rester aussi simple à utiliser que n'importe quelle autre ancienne lampe classique. Les fonctionnalités qui sont utilisées le plus souvent devraient être les plus simples à utiliser - un utilisateur ne devrait jamais avoir à faire défiler toute une série de paramètres de luminosité pour obtenir son réglage préféré.

Un micro-ordinateur peut être utilisé pour implémenter l'interface utilisateur en mémoire sur le driver, qu'il y ait un ou plusieurs réglages. Le micro-ordinateur est également pratique dans la mise en œuvre de fonctions automatiques et pour exécuter tout un tas d'autres tâches. Placer l'intelligence dans le logiciel plutôt que dans le matériel permet d'adapter différentes caractéristiques et de fournir des contrôles automatiques qui ne sont pas faciles à créer avec de l'électronique pure. En outre, cela permet d'ajouter a posteriori de nouvelles fonctionnalités avec une relative facilité.

- **Conclusion**

Concevoir une lampe frontale à LEDs permet d'obtenir un éclairage très robuste et sophistiqué. Le cahier des charges standard des caractéristiques souhaitées inclut : une taille réduite, une luminosité maximum élevée, des réglages de luminosité multiples, une régulation constante de la luminosité, une régulation thermique, un faisceau de lumière conique pas trop contrasté, une tolérance pour des batteries de types variés et des accus rechargeables, un avertissement de fin d'autonomie, des commandes simples, un signal d'urgence automatique, un verrouillage de l'interrupteur et un localisateur dans l'obscurité. Ces caractéristiques peuvent désormais être placées dans une seule et même lampe compacte.