Concevoir une rampe LED

Les rampes LED présentent plusieurs avantages par rapport aux éclairages T5 ou HQI comme une couleur ajustable, le fait de ne pas avoir d'ampoules à remplacer, … mais aussi des inconvénients notamment le prix d'achat ; si la consommation est souvent (mais pas toujours) inférieure à celle des rampes T5 ou HQI fournissant un niveau d'éclairement équivalent, la facture d'achat minimise l'argument du prix de revient présenté comme intérêt majeur par la plupart des fournisseurs.

Un moyen de diminuer ce prix d'achat, et ceci est valable quelle que soit la technologie utilisée (LED, T5 ou HQI) est de la construire soi-même, ce qui nécessite seulement des compétences de « bon bricoleur » et un peu de bon sens.

Le but de cet article est de donner la marche à suivre permettant de concevoir soi-même une rampe LED qui réponde aux besoins de l'aquariophile ; il aborde les aspects suivants :

1. Grosses ou petites LEDs ?
2. Quelle couleur ?
3. PAR, PUR, Lux, Lumen et Lm/W ?
4. Quelle puissance lumineuse ?
5. Quelle puissance électrique ?
    a. Rendement en fonction de la puissance
    b. Rendement en fonction de la CCT
    c. Puissance électrique nécessaire
6. Combien de LEDs ?
    a. Usage des lentilles
    b. Nombre minimum de LEDs
    c. Nombre optimum de LEDs
    d. Beaucoup de LEDs faible puissance ou peu à forte puissance ?
7. Quels dissipateurs ?
8. Quels drivers ?
9. Quel gradateur (dimmer) ?
10. Synthèse
11. Magicien
12. Bonnes adresses

Ceci ne conduira pas à une configuration mais à plusieurs possibilités parmi lesquelles il faudra faire des choix.

Il faudra même effectuer plusieurs passages successifs, par exemple après avoir calculé un nombre de LEDs convenable on s'apercevra qu'il n'existe aucun driver pour les piloter !

Il faudra alors remettre en question le nombre de LEDs ou la hauteur de la rampe ou … et parcourir à nouveau les étapes successives pour arriver à une autre configuration.

Vu les trop nombreuses possibilités, cet article n'abordera pas la construction elle-même, laissant à chacun le soin d'y apporter sa touche personnelle.

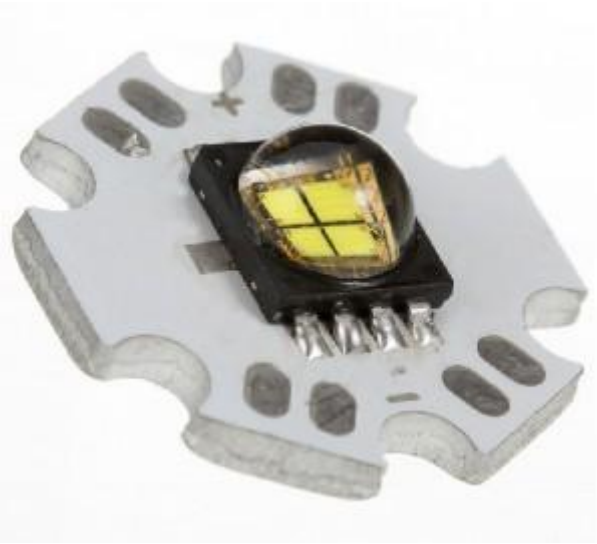
1) Grosses ou petites LEDs ?

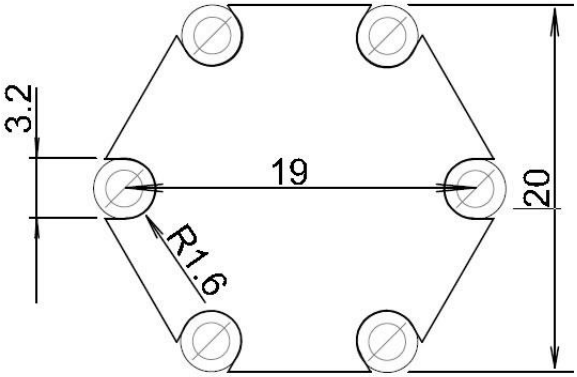
- Petites LEDs jusque 10W

Il existe plusieurs fabricants de « petites » LEDs mais je me limiterai aux Cree pour leur facilité d'approvisionnement et parce que leurs caractéristiques complètes sont disponibles.

Dans la suite de cet article, elles seront désignées par « Cree ».

Vu leur petite taille, les Cree sont difficiles à mettre en œuvre mais on les trouve facilement montées sur un support hexagonal (Star LED) qui est facile à fixer et à câbler.





On trouve aussi des lentilles adaptées avec différents angles.

La plupart des LEDs se soudent mais il existe des Star LED Solderless (sans soudure) munies de connecteurs et fournies avec des câbles et les connecteurs correspondants.

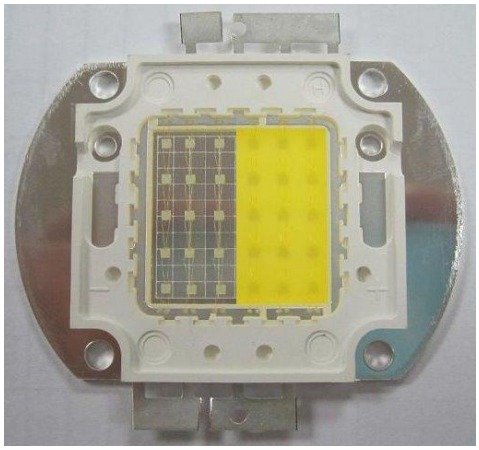
- <u>Grosses LEDs Multichip à partir de 10W</u>

  Un module multi-chip est un assemblage où plusieurs circuits intégrés, semi-conducteur ou d'autres composants discrets sont emballés sur un substrat fédérateur, facilitant leur utilisation en tant que composant unique.

  Il en existe plusieurs fabricants (Epiled, Epistar, …) et de plusieurs technologies (30 mil*, 38 mil, …) mais je me limiterai aux Bridgelux 45 mil qui sont les plus performantes à l'heure de la rédaction de cet article.

  Dans la suite de cet article, elles seront désignées par « Multichip ».

  Les Multichip sont constituées de LEDs Royal Blue qu'on voit sur la partie gauche de l'image de gauche, recouvertes, comme la partie droite de « phosphores » qui convertissent le rayonnement bleu en blanc.



Une Multichip 30W est constituée de 6 groupes en parallèle, chaque groupe contenant 5 LEDs de 1W en série.

Une Multichip 10W est constituée de 3 groupes en parallèle, chaque groupe contenant 3 LEDs de 1W en série.

<u>Attention</u> : la puissance de certaines Multichips est donnée en alimentant les LEDs individuelle à une puissance supérieure à 1W ; par exemple, certaines LEDs de 20W sont constituées de 9 LEDs recevant chacune plus de 2W faisant diminuer le rendement d'environ 20%; pour le savoir il suffit de diviser la puissance totale par le nombre de LEDs.

Une Multichip de 50W avec, à gauche, son réflecteur et, à droite sa lentille de 60°.

* Un mil est égal à un millième de pouce = 0,0254 mm

- Avantages et inconvénients

Cree	Multichip

• Beaucoup de composants
  ○ plus fastidieux à construire
  ○ lumière facile à répartir
• Toujours au moins 2 couleurs
  CCT facile à ajuster
	• Peu de composantss
	  ○ plus simple à construire
	  ○ lumière difficile à répartir
	• Une seule couleur : CCT fixe
	  2 couleurs : CCT difficile à mélanger

D'autre part il faut savoir que les MC sont en fait des assemblages de LEDs alimentées à 1W, leur rendement est ainsi excellent (de l'ordre de 77 lm/W).

On peut obtenir un rendement similaire avec des Cree mais il faut aussi les alimenter à 1W, il en faut alors beaucoup.

Par exemple pour un même flux de 20.000 lumens

23 Multichip 16.000K de 10 Watts 230 W

on peut obtenir le même rendement avec des Cree mais il faut les alimenter 1W, il en faut alors 230

230 LED Cree (43% XP-G R5 + 57% XT-E RB) sous 1W 230 W

on peut augmenter la puissance des Cree, ce qui fait qu'il en faudra moins, mais le rendement diminue

87 LED Cree (43% XP-G R5 + 57% XT-E RB) sous 4W 348 W soit 50% de consommation en plus.

2) Quelle couleur ?

Le but de l'éclairage d'un aquarium est de reproduire l'ambiance qui règne dans la nature là où les coraux poussent le mieux à savoir entre 5 et 10 m de profondeur ; bien sur les coraux poussent aussi plus haut mais ils sont alors battus par la houle, et aussi plus bas mais ils sont alors plus ternes par manque de lumière.

Entre 5 et 10 m la CCT (Correlated Color Temperature : voir article La lumiere.pdf) varie entre 10.000 et 20.000K ; **15.000K me semble donc un bon point de départ** quitte à chacun de choisir une CCT plus ou moins élevée (teinte plus ou moins bleue) sachant que plus la CCT est élevée moins le bac semblera lumineux aux humains et plus il faudra de puissance.

D'autre part les coraux utilisent peu le vert et la lumière rouge, que les coraux pourraient utiliser, est rapidement absorbée par l'eau de mer : par rapport à la quantité de rouge disponible à la surface de la mer il en reste 2% à 5m de profondeur et 0,1% à 10m ; il n'est donc pas utile d'utiliser des LEDs vertes ni rouges (ni jaunes) mais libre aux aquariophiles d'en utiliser s'ils aiment un aquarium de cette couleur ; je n'en parlerai toutefois pas davantage ici.

A ce stade il faudrait décider de la CCT à adopter, si possible en allant voir d'autres aquariums, pour estimer leur CCT d'après leur composition, ou en se basant sur les spécifications du constructeur de la rampe qui l'équipe, éventuellement à l'aide d'un de ces 2 logiciels CCT d'une combinaison de sources et Combinaison de LED Cree, ou en la mesurant à l'aide du logiciel disponible ici http://www.rudyv.be/Aquarium/Calculateurs.
À défaut 15.000K est une bonne valeur de départ.

3) PAR, PUR, Lux, Lumen et Lm/W ?

Essayons d'expliquer ces différentes notions sur base d'un exemple :

- supposons un tuyau d'arrosage qui débite 10 litres par minute; de même un système d'éclairage débite un flux de lumière qui se mesure en lumens, disons 10.000 Lm.
- formons avec le tuyau un jet mince qui mouille une superficie de 1m² pendant une minute; le sol sera bien mouillé; de même la rampe concentrée sur une superficie de 1m² va l'éclairer relativement fort; l'intensité de l'éclairement se mesure en lux; comme la rampe fournit 10.000 Lm elle va éclairer avec 10.000 Lm / 1m² = 10.000 Lux.
- formons maintenant avec le tuyau un jet large qui va mouiller une superficie de 10 m²; puisque le débit est le même (10 l/min) la surface sera beaucoup moins mouillée; de même la rampe placée plus loin, ou munie de lentilles plus larges de manière à ce qu'elle éclaire une superficie de 10m² va l'éclairer beaucoup moins; comme la rampe fournit toujours 10.000 Lm elle va éclairer avec 10.000 Lm / 10m² = 1.000 Lux.

Autre expérience : si une lampe de poche éclaire un mur blanc à 10 cm elle forme un cercle de lumière relativement lumineux; en reculant de 5m pour éclairer tout le mur l'intensité lumineuse est beaucoup moins forte; on dit que l'éclairement est moins fort et il se mesure en lux; pourtant c'est toujours la même lampe de poche avec la même "puissance" lumineuse; cette puissance c'est le flux qui se mesure en lumens.

Le flux mesure en lumen la totalité de la lumière qui sort de la lampe; l'éclairement en lux dépend de la superficie éclairée : plus elle est grande moins on a de lux.

La superficie éclairée dépend de la lentille et de la distance.

D'autre part revenons à notre rampe qui fournit un flux de 10.000 Lm; supposons qu'elle consomme 100 watts; son rendement est 10.000 Lm / 100 W = 100 Lumens par Watt.
Plus le rendement est élevé, plus la rampe fournit de lumière pour une puissance donnée ou moins elle consomme d'électricité pour un flux donné.

Ce qui est important pour les coraux c'est le PUR[1] càd la mesure de l'énergie lumineuse qu'ils reçoivent dans les longueurs d'onde (la couleur de la lumière) auxquelles ils sont sensibles.
Le PAR[2] est l'énergie lumineuse totale que les coraux reçoivent sans tenir compte des longueurs d'onde auxquelles ils sont sensibles.
PAR et PUR s'expriment en micro-Einstein[3] par m² par seconde (µE/m²/s).
L'éclairement qui se mesure en Lux est l'intensité lumineuse en tenant compte de la sensibilité aux couleurs de l'œil humain, qui n'est pas la même que celle des coraux.

Mesure de la lumière	Œil humain		Totale		Chlorophylle	
	Grandeur	Unité	Grandeur	Unité	Grandeur	Unité
Puissance lumineuse	Flux	Lumen	Puissance	Einstein/s	Puissance	Einstein/s
Intensité lumineuse	Eclairement	Lux	PAR	Einstein/m²/s	PUR	Einstein/m²/s

En d'autres termes, le fait de mesurer l'intensité en Lux n'a théoriquement pas de sens pour savoir si la rampe convient aux coraux, mais le PAR non plus !
Cependant **dans le contexte d'un éclairement pour aquarium marin** avec son spectre à tendance bleue on peut considérer que si l'éclairement est suffisant pour les humains alors il sera plus que suffisant pour les coraux.
Le contraire n'est pas vrai : si on éclaire un aquarium seulement avec des LEDs Royal blue on est pile au maximum de sensibilité des coraux et ils pousseront bien, mais l'homme qui n'est pas très sensible au bleu trouvera que le bac est sombre.

---

[1] Photosynthetically Useable Radiation = Rayonnement utilisable par la photosynthèse
[2] Photosynthetically Active Radiation = Rayonnement actif pour la photosynthèse
[3] Einstein = énergie d'une mole de photons ; une mole contient 1,022 10^{23} particules (un suivi de 23 zéros).

4) Quelle puissance lumineuse ?

Théoriquement, pour connaître le besoin des coraux en énergie lumineuse, il faudrait mesurer le PUR du luminaire mais il n'existe pas à ma connaissance d'appareil permettant de le faire directement ; des appareils dénommés « quantum-mètre » permettent de mesurer le PAR qui représente l'énergie totale sans tenir compte des besoins des coraux ; la conversion du PAR en PUR est fastidieuse et de toute façon impossible si on ne connait pas le spectre exact.

Plusieurs études ont montré que les coraux sont très tolérants vis à vis du PAR : de 2.000 à 50 µEinstein/m²/s. A midi, sous les tropiques on mesure 2.000 µE/m²/s à la surface et étant donné l'absorption de la lumière par l'eau il reste 300 µE/m²/s à 20 m de profondeur. En moyenne sur une journée ceci représente de 400 à 800 µE/m²/s à la surface et 60 à 100 µE/m²/s à 20m. Pour beaucoup de coraux la photosynthèse est au maximum à 400 µE/m²/s il est donc inutile de dépasser cette valeur. A 100 µEinstein/m²/s la photosynthèse quoique nettement plus faible reste correcte.

Dans un aquarium avec une hauteur d'eau de 60 cm l'éclairement dans le fond du bac est approximativement égal à la moitié de l'éclairement en surface.

Sachant que nous éclairons nos aquariums avec une lumière essentiellement bleue, disons entre 400 et 500 nm pour obtenir une CCT de 10.000 à 20.000K, on peut considérer que le PAR est approximativement égal à l'éclairement exprimé en Lux divisé par 50.

L'éclairement étant beaucoup plus facile à calculer et à mesurer, je vais donc considérer que **l'éclairement idéal** (max de pousse) **se situe à environ 400 µE/m²/s soit 20.000 Lux** en surface ce qui donne pour la plupart des bacs 200 µE/m²/s ou 10.000 Lux dans le fond.

Comme pour la couleur, chacun peut adapter cette règle à ses besoins, par exemple en diminuant l'éclairement à 10.000 Lux (5.000 dans le fond) par soucis d'économie ou au contraire l'augmenter par exemple à 30.000 Lux s'il souhaite un bac très lumineux notamment pour qu'il contraste avec son environnement s'il se trouve dans une pièce fortement éclairée par de grandes baies vitrées.

Pour obtenir l'éclairement requis la quantité de lumière nécessaire sera d'autant plus élevée que la superficie de l'aquarium est importante ; on appelle « flux » cette « quantité » de lumière ; l'unité de mesure du flux est le Lumen.

Pour obtenir un éclairement de 20.000 Lux il faudra donc une rampe qui produit 20.000 Lumens par m² ; par exemple pour un bac mesurant 100 x 60 cm = 0,6m² la rampe devra fournir 20.000 x 0,6 = 12.000 Lumens.

A ce stade on devrait connaître l'éclairement à adopter (en lux) **et le flux** (en Lumens), si possible en allant voir d'autres aquariums, en estimant leur éclairement d'après leur composition (par exemple l'éclairement d'un aquarium sous T5 ou HQI atteindra environ 55 Lumens par watt et par m²), ou en se basant sur les spécifications du constructeur de la rampe qui l'équipe, ou mieux en la mesurant à l'aide d'un luxmètre ou du logiciel disponible ici http://www.rudyv.be/Aquarium/Calculateurs.

À défaut 20.000 Lux soit 20.000 Lumens par m² est une bonne valeur de départ.

5) Quelle puissance électrique ?

L'énergie électrique nécessaire à cette production dépend du rendement de la rampe c'est-à-dire du flux (nombre de Lumens) que la rampe produit pour chaque watt électrique qui lui est fourni ; ce rendement s'exprime en « Lumens par Watt » (Lm/W) ; plus ce chiffre est élevé, moins la rampe consommera d'électricité pour un même éclairement.

Le rendement dépend non seulement du type de LEDs utilisées mais aussi de la puissance par LED et de la CCT : plus on souhaite une teinte bleue, moins l'œil humain y est sensible, et plus il faudra fournir de puissance pour une même intensité lumineuse.

Pour une LED donnée, plus la puissance et la CCT augmente, plus le rendement diminue ; quelques exemple :

- Cree XP-G R5 de 6.500K
  - à 1W : 140 Lumens soit 140 Lm/W
  - à 4W : 420 Lumens soit 105 Lm/W
- Cree XT-E royal Blue
  - à 1W : 30 Lumens soit 30 Lm/W
  - à 4W : 88 Lumens soit 22 Lm/W
- Multichip Bridgelux
  - 10.000K : 89 Lm/W
  - 20.000K : 73 Lm/W

a) Rendement en fonction de la puissance

Voici sous forme d'un tableau les caractéristiques d'une Cree blanche XP-G R5.

Courant [mA]	Tension [Volts]	Puissance [Watts]	Flux [Lumens]	Rendement [Lm/W]
350	2,9	1,0	140	140
700	3,0	2,1	265	125
960	3,1	3,0	343	115
1.250	3,2	4,0	418	104
1.500	3,3	4,9	476	97

On voit par exemple (1ère ligne du tableau) qu'à un courant de 350 mA nécessaire pour atteindre une puissance de 1 watt la tension aux bornes de la LED est de 2,9V et le rendement 140 Lumens.
Rendement = 140 Lm / 1W : 140 lm/W.

A un courant double de 700 mA (2ème ligne du tableau) la tension a un peu augmenté (3V au lieu de 2,9V) ; la puissance est donc un peu supérieure à 2W (2,1W) ; si le flux avait doublé il atteindrait 280 Lm mais il ne dépasse pas 265 Lm donc le rendement = 265 / 2,1 = 125 Lm/W a diminué.

À son courant maximum de 1.500 mA (dernière ligne) la tension augmente encore jusque 3,3V, la puissance atteint 4,9 W mais le rendement ne dépasse plus 97 Lm/W.

La plupart des Multichip sont constituées de plusieurs LEDs disposées sur un même substrat habituellement alimentées chacune sous une puissance de 1W ; le rendement ne dépend donc pas de la puissance totale de la LED puisque, qu'il s'agisse d'une Multichip de 10W ou de 100W, chaque LED individuelle est parcourue par le même courant.

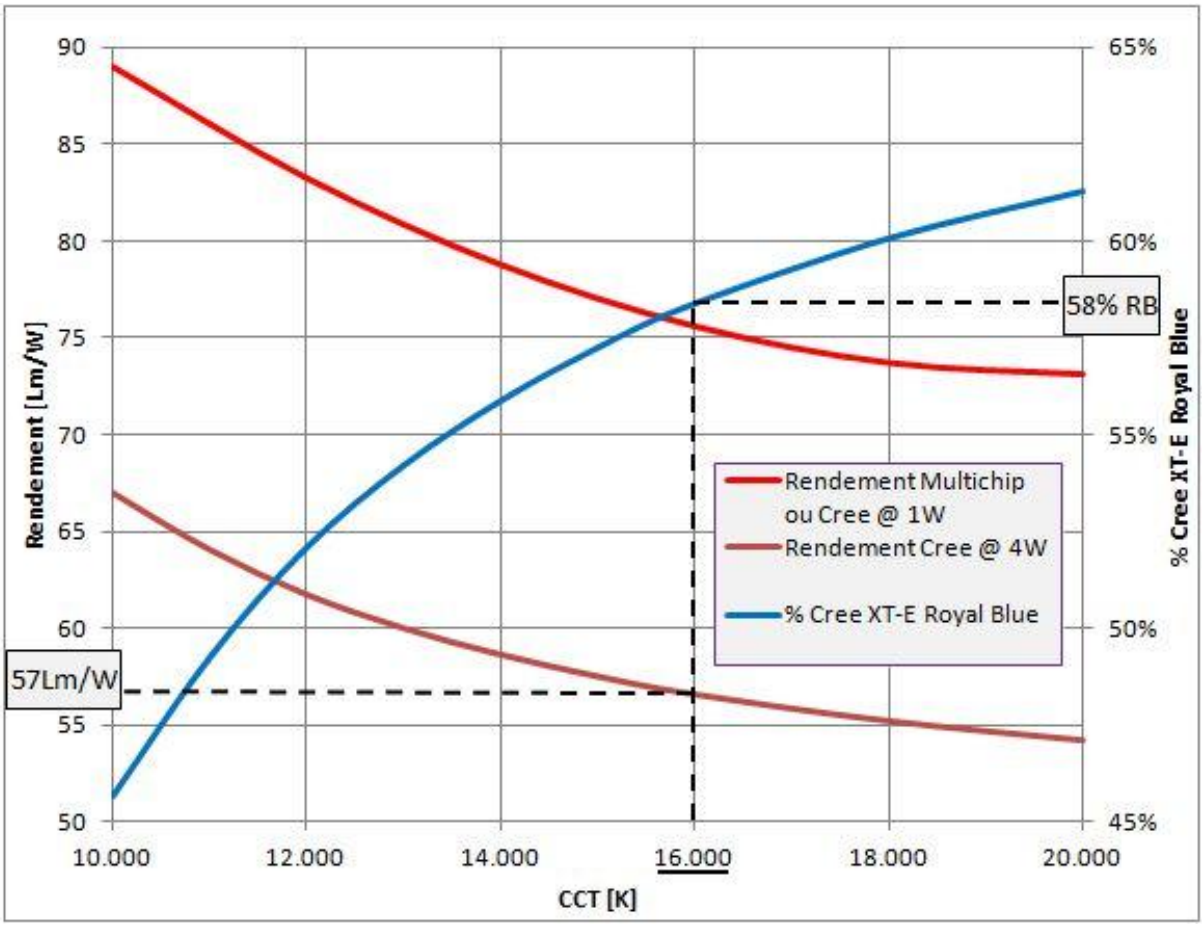
b) Rendement en fonction de la CCT

Le graphique ci-dessous donne une idée du rendement auquel on peut s'attendre en fonction de la CCT avec des Cree alimentées à 4W et à 1W ; ce dernier est similaire au rendement des Multichip dont les LEDs individuelles sont alimentées à 1W.

Les Cree blanches n'existent pas avec une CCT de plus de 8.000K avec de la chance; il faut plutôt compter sur 6.500K; dès lors le meilleur moyen d'atteindre une CCT adéquate est d'y ajouter des royal blue; les 2 couleurs (6.500K / RB) étant fort différentes, elles risquent de mal se mélanger, mais vu qu'il en faut relativement beaucoup ce n'est finalement pas un problème.

Le graphique donne aussi le pourcentage de Cree XT-E Royal Blue à utiliser en combinaison avec des Cree XP-G R5 blanches pour obtenir une CCT donnée.

Par exemple (traits pointillés) pour obtenir une CCT de 16.000K la proportion sera de 58% de XT-E pour 42% de XP-G ; le rendement à 4W sera de 57 Lm/W .

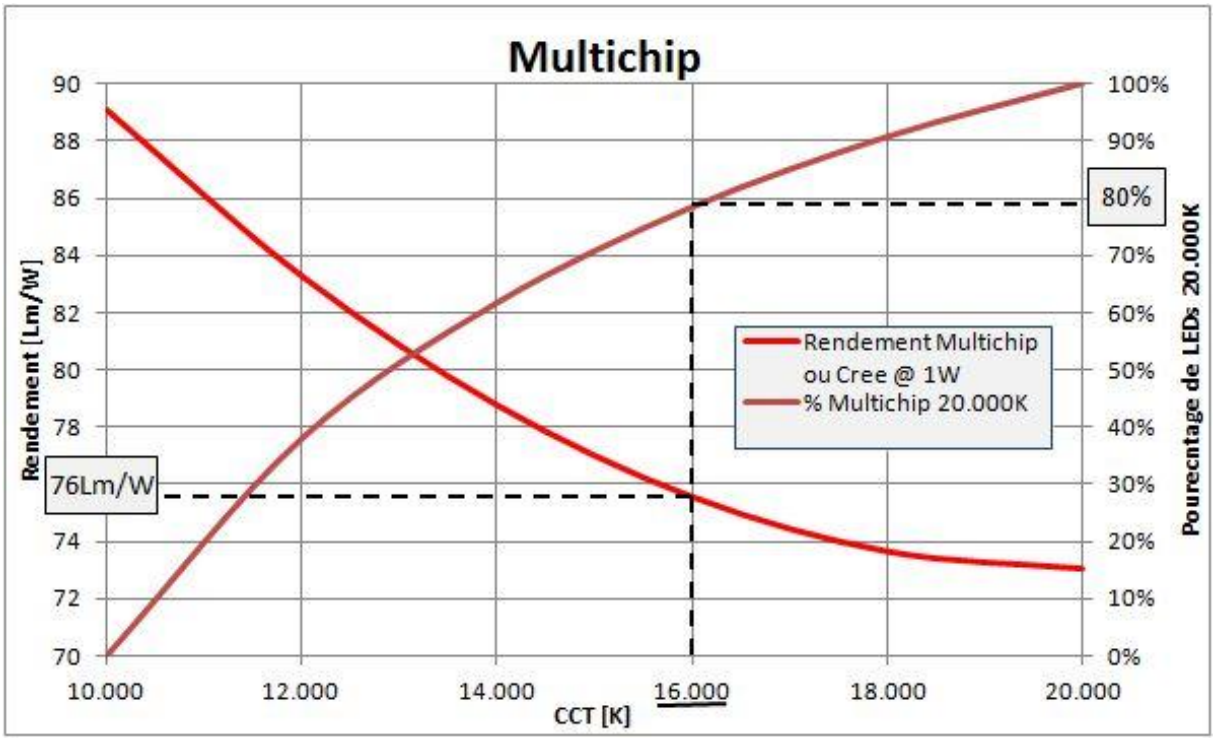


Avec les Multichips il serait dommage de partir de 6.500K puisqu'elles existent en 10.000 et plus, d'autant plus que le mélange des couleurs ne sera pas optimal avec par exemple des 6.500K et des RB car elles sont peu nombreuses. Par exemple pour atteindre 15.000K il faut 85% de 10.000K et 15% de RB alors qu'il faut 30% de 10.000K + 70% de 20.000K.

On peut utiliser des Multichip toutes de la même CCT que celle qu'on veut obtenir, ou une combinaison de 10.000K et de 20.000K afin de pouvoir ajuster la couleur ; dans ce cas le nombre de Multichip devra être suffisant pour que le mélange de couleurs soit homogène.

Le graphique ci-dessous montre le rendement d'une Multichip en fonction de la CCT et aussi la proportion de Multichip 20.000K qu'il faut utiliser en combinaison avec des 10.000K pour obtenir la CCT souhaitée.

Par exemple (traits pointillés) pour obtenir une CCT de 16.000K la proportion sera de 20% de 10.000K et 80% de 20.000K ; le rendement sera de 76 Lm/W.



c) Puissance électrique nécessaire

On a vu que pour atteindre un éclairement de 20.000 Lux il faut un flux de 20.000 Lumens par m² et que la puissance électrique nécessaire pour obtenir ce flux dépend de la CCT souhaitée et du rendement en Lm/W des LEDs utilisées.

Pour savoir quelle puissance électrique sera nécessaire, il suffit de diviser le flux par le rendement.

En poursuivant l'exemple ci-dessus pour obtenir 20.000 Lux et 16.000K sur 1 m² avec des Cree à 4W (57 Lm/W) il faudra une puissance électrique de

20.000 Lm / 57 Lm/W = 350 Watts par m².

Avec des Cree à 1W ou des Multichip (76 Lm/W) il faudra 20.000 / 76 = 263 watts/m².

Voici un tableau qui récapitule la puissance et le nombre de LEDs à utiliser par m² pour obtenir un éclairement de 20.000 Lux sous différentes CCT

Puissance et nombre de LEDs par m² pour 20.000 Lux						
CCT	Cree @ 4 Watts			Multichip		
	Puissance [W]	Nombre XP-G R5	Nombre XT-E RB	Puissance [W]	Puissance 10.000K	Puissance 20.000K
10.000	299	41	34	225	225	0
12.000	324	39	42	225	139	85
14.000	341	38	48	240	92	148
16.000	354	37	52	254	55	199
18.000	362	36	54	265	25	240
20.000	369	36	57	274	0	274

Pour un éclairement différent il suffit de prendre les puissances au prorata ; par exemple pour 30.000 Lux il faut multiplier par 30.000/20.000 = 1,5.
Il suffit ensuite de multiplier la puissance par la superficie du bac.

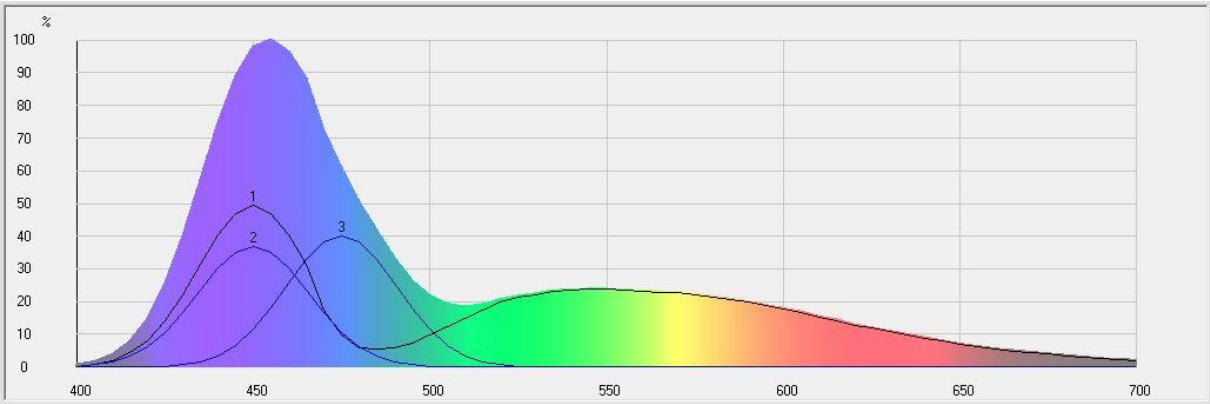
Reprenons l'exemple du bac mesurant 100 x 60 cm = 0,6m² avec 30.000 Lux.
Facteur de correction : 30.000 Lux / 20.000 Lux x 0,6 m² / 1 m² = 0,9
Sous 16.000K il faudra mettre en œuvre

- Soit 354 x 0,9 = 319 W de Cree : 37 x 0,9 = 33 XP-G R5 + 52 x 0,9 = 47 XT-E RB
- Soit 254 x 0,9 = 229 W de Multichip 16.000K
- Soit 55 x 0,9 = 50 W de Multichip 10.000K+ 199 x 0,9 = 180 W en 20.000K.

A ce stade on connaît la puissance de LEDs nécessaire pour atteindre l'éclairement et la CCT souhaités en utilisant des Cree sous 4W OU des Multichips de même couleur OU de couleurs différentes.

Il vaut mieux poursuivre la démarche en retenant ces 3 possibilités, le meilleur choix apparaîtra quand nous aurons examiné les autres aspects du problème.

On peut aussi remplacer une partie des Cree Royal blue par des Cree bleues, par exemple des XP-E à 475 nm, le rendement et la CCT n'en seront pas fortement affectés.
En reprenant l'exemple ci-dessus : 33 XP-G R5 + 47 XT-E RB ➔ 16.000K @ 60,4 Lm/W.
En remplaçant la moitié des XT-E par des XP-E à puissance égale : 18.000K et 60,2 Lm/W.
L'avantage est que les LEDs blanches présentant un pic à 450 nm (courbe 1), l'ajout de RB (courbe 2) accentue ce pic alors que les bleues (courbe 3) ont plutôt tendance à le combler.
L'inconvénient est que le XP-E supportent au maximum 1.000 mA contre 1.500 mA pour les XP-G et XT-E : il faudra donc davantage de XP-E pour la même puissance.



Il faut aussi savoir que le rendement des alimentations étant de l'ordre de 85 à 90%, la puissance électrique consommée sera 10 à 20% supérieure à la puissance des LEDs.

6) Combien de LEDs ?

a. Usage des lentilles

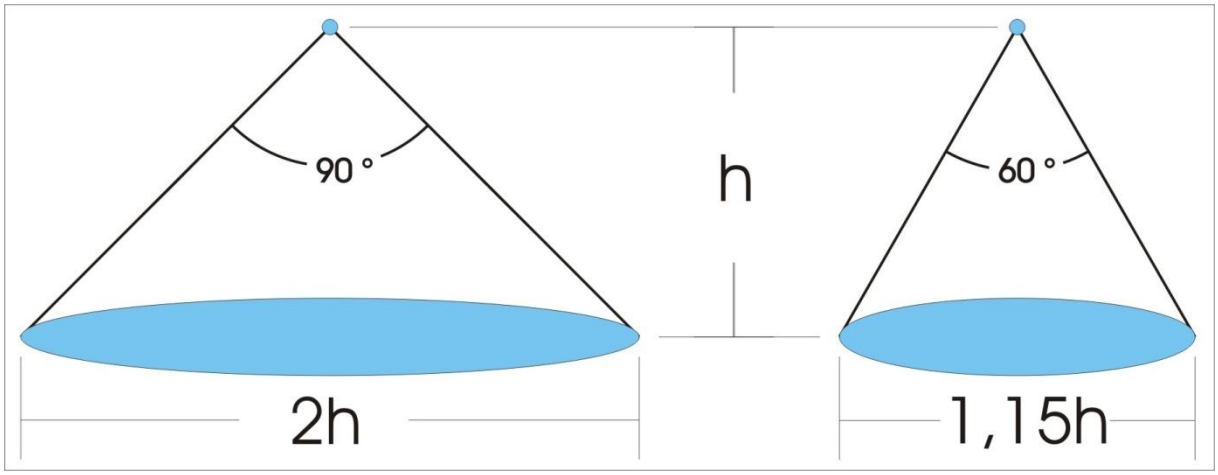
Un avantage des LEDs par rapport aux T5 et HQI est qu'on peut les équiper de lentilles pour mieux diriger la lumière ; il devient ainsi facile de faire en sorte que les LEDs éclairent seulement la superficie du bac.

Une lentille éclaire la surface de l'eau d'un cercle dont le diamètre D est égal à

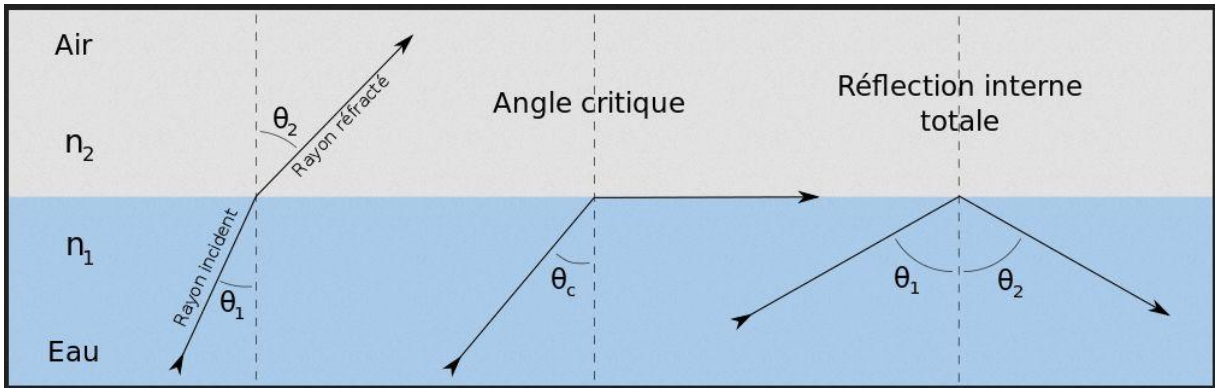
$$D = 2 \times h \times \text{tangente}\ (\alpha / 2)$$

h étant la hauteur au dessus de l'eau et α l'angle au sommet du cône de lumière de la lentille.

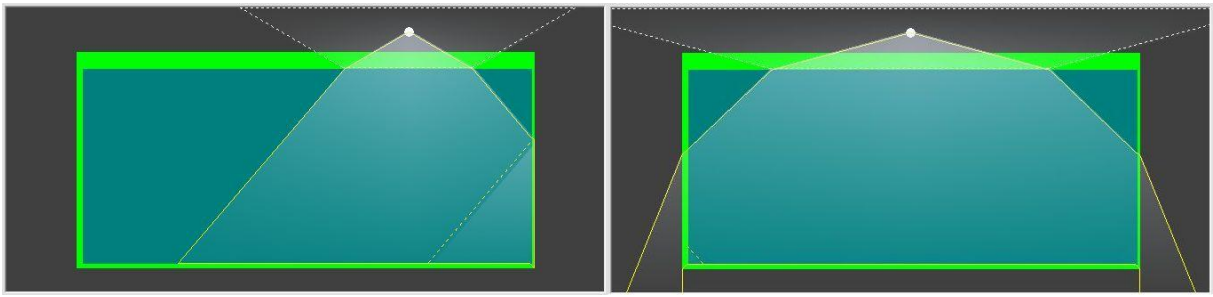
Ainsi, une lentille d'un angle de 90° dessine un cercle dont le diamètre est égal à 2 fois la hauteur de la rampe au-dessus de l'eau ; le cercle dessiné par une lentille de 60° est égal à 1,15 multiplié par la hauteur.



Ceci permet de répartir les lentilles de manière à obtenir un éclairement uniforme de la surface.



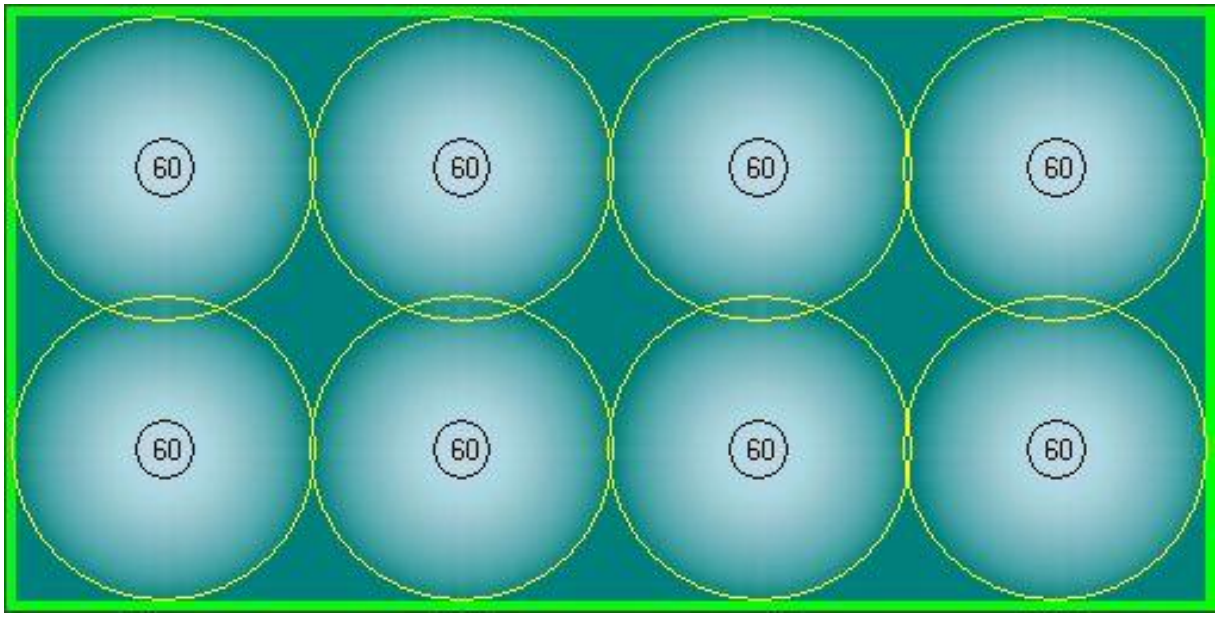
Il faut aussi savoir que sans lentille l'angle est très large ; jusque 126° la lumière qui touche les vitres verticales est réfléchie dans le bac comme sur le dessin de gauche, alors qu'au-delà de 126° elle traverse les vitres pour se perdre à l'extérieur du bac comme le montre le dessin de droite.



Aussi bien les Cree XP-G et XT-E que les Multichips ont un angle de rayonnement voisin de 180° ; il est donc conseillé de les équiper de lentilles.

b. Nombre minimum de LEDs

Si toutes les LEDs sont de la même couleur, les cercles dessinés doivent au moins se toucher à la surface de l'eau comme les 4 LEDs dans le sens de la longueur sur ce dessin, si possible s'interpénétrer un peu comme les 2 LEDs dans le sens de la largeur



Le tableau ci-dessous donne le diamètre des cercles en fonction de l'angle et de la hauteur de la rampe au dessus de l'eau ; il donne aussi le nombre minimum de LEDs par mètre courant.

Hauteur	Diamètre éclairé [cm]			Nombre minimum de LEDs par m courant		
	60 °	90 °	120 °	60 °	90 °	120 °
10 cm	12	20	35	9	5	3
20 cm	23	40	69	5	3	2
30 cm	35	60	104	3	2	1
40 cm	46	80	139	3	2	1
50 cm	58	100	173	2	1	1
60 cm	69	120	208	2	1	1

Par exemple (en gris dans le tableau) :
bac de 120 x 60 cm, rampe à 30 cm de l'eau avec lentilles 60° :

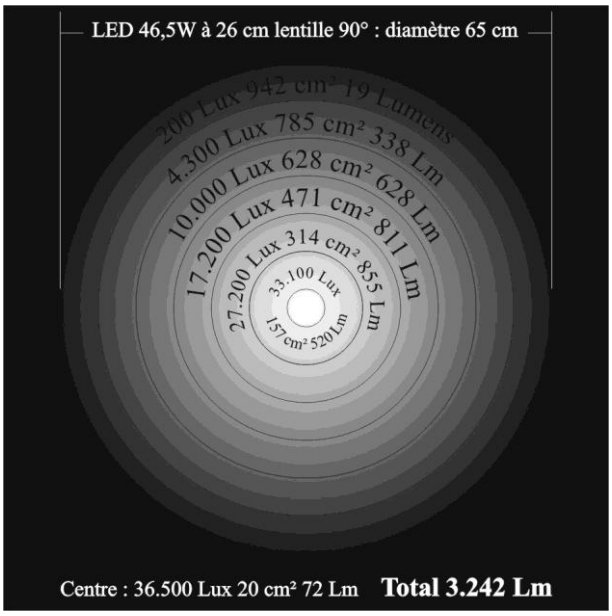
- Diamètre des cercles éclairés à la surface : 35 cm ;
- il faut 3 LED par mètre
  - Nombre de LEDs sur la longueur : 3 x 1,2 = 3,6 ➔ minimum 4 LEDs
  - Nombre de LEDs sur la largeur : 3 x 0,6 = 1,8 ➔ minimum 2 LEDs
- nombre minimum de LEDs pour le bac : 4 x 2 = 8

c'est ainsi qu'a été fait le dessin précédent.

Si les LEDs sont de couleurs différentes, les cercles doivent s'interpénétrer ➔ il faut au moins doubler le nombre de LEDs ; Pour l'exemple ci-dessus : 8 x 2 = LEDs minimum.

Il faut aussi tenir compte du fait que le cercle n'est pas uniformément éclairé, voir ci contre un exemple d'une Multichip équipée d'une lentille de 90°.

Le logiciel disponible ici http://www.rudyv.be/Aquarium/Calculateurs permet de dessiner et d'optimiser facilement cette répartition.



A ce stade on devrait connaître le nombre MINIMUM de LEDs à installer pour que la répartition de l'éclairage soit uniforme.

Plusieurs approximations successives seront nécessaires en modifiant chaque fois la hauteur et l'angle des lentilles.

c. Nombre optimum de LEDs

Nous avons calculé la puissance totale de LEDs nécessaire pour atteindre l'éclairement et la CCT souhaités en utilisant des Cree sous 4W OU des Multichips de même couleur OU de couleurs différentes.

Il suffit de la divise par la puissance d'une LED pour en connaître le nombre.

Avec les Cree la puissance va de 0 à 3,55 Watts par LED avec les XP-E, jusque 5W avec les XP-G et XT-E et jusque 10 watts avec les XM-L.

Les Multichips existent en 10, 20, 30, 50, 10 Watts et plus.

Il y a donc de multiples possibilités sans tomber toutefois sous le nombre minimum défini ci-dessus.

Reprenons l'exemple du bac de 120 x 60 cm, rampe à 30 cm de l'eau avec lentilles 60° : minimum 8 Multichips de la même couleur ou 16 LEDs de couleurs différentes.

Possibilités pour 30.000 Lux :

- Soit 319 W de Cree sous 4W : 33 XP-G R5 + 47 XT-E RB
  Soit 290 W de Cree sous 3W : 40 XP-G R5 + 57 XT-E RB
- Soit 229 W de Multichip 16.000K
  23 de 10W ou 12 de 20W ou 8 de 30 W qui est la limite
- Soit 50 W de Multichip 10.000K+ 180 W en 20.000K.
  en 10W : 5 de 10.000K + 18 de 20.000K
  en 20W : 3 de 10.000K + 9 de 20.000K
  en 30W : 2 de 10.000K + 6 de 20.000K ce qui est la limite et il sera déjà difficile de mélanger correctement 2 LEDs d'une couleur avec 6 d'une autre.

On peut aussi mélanger des LEDs de puissance différentes ce qui augmente encore le nombre de possibilités ; nous allons voir comment faire le tri.

d. Beaucoup de LEDs faible puissance ou peu à forte puissance ?

En discutant cette question sur le forum http://www.recifal-france.fr (merci Greg) il apparaît qu'il est plus économique d'utiliser davantage de LEDs à plus faible puissance.

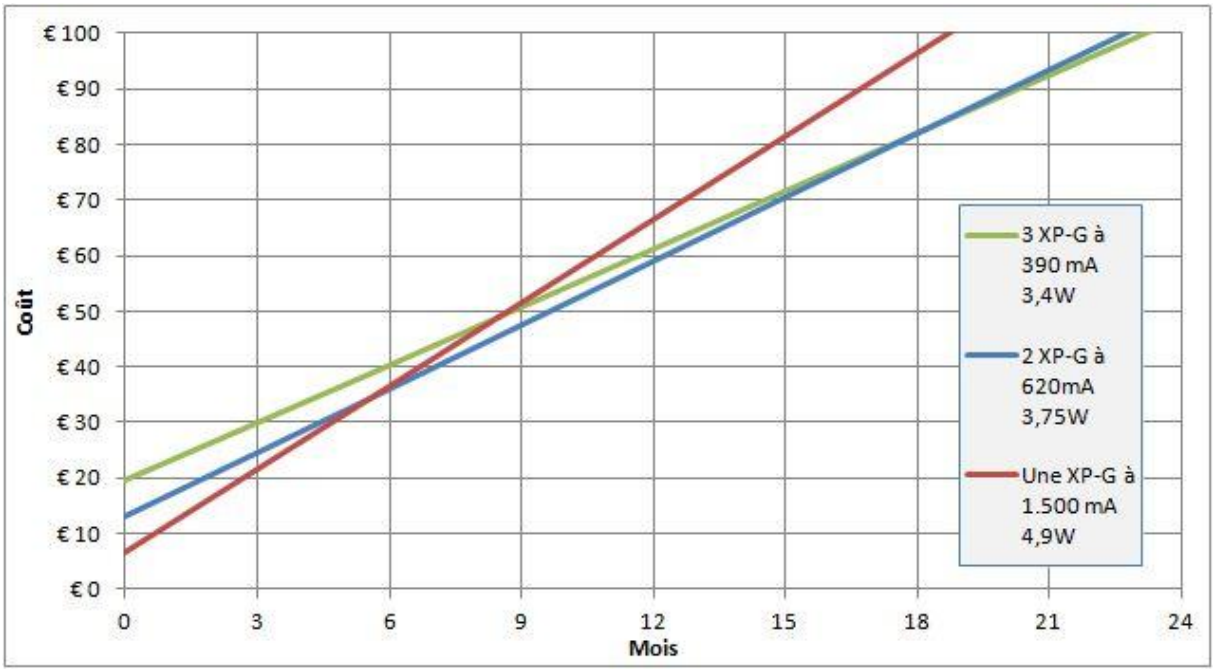
En considérant l'achat d'une XP-G à 5€ + 1,5€ pour la lentille et le kWh à 0,14€ pour obtenir un même flux de 475 Lm (celui d'une XP-G à 1.500 mA) pendant 10 heures par jour

1. Une XP-G à 1.500 mA 4,9W : investissement : 6,50€
2. 2 XP-G à 620mA 2 x 1,875W = 3,75W : investissement : 13,00€
3. 3 XP-G à 390 mA 3 x 1,13W = 3,4W : investissement : 19,50€

on constate que

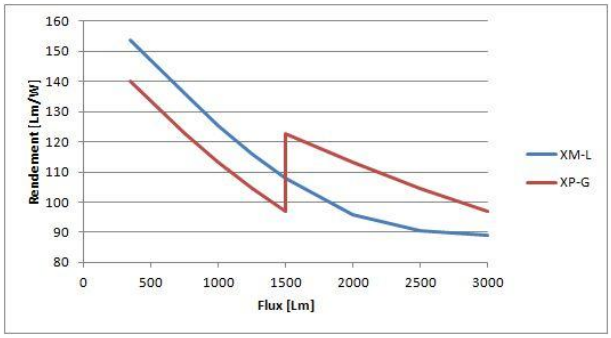
- le fait d'utiliser 2 LEDs au lieu d'une revient moins cher après seulement 5,5 mois
- le fait d'utiliser 3 LEDs au lieu d'une revient moins cher après seulement 8,5 mois
- après 2 ans le coût total est de 126,70€ avec une LED, 105€ avec 2, 103€ avec 3.

et ceci sans compter que, pour un même flux, 3 LEDs consommant 30% de moins qu'une seule, l'investissement en drivers est donc moindre aussi.



Sur le même thème, vaut-il mieux utiliser des XP-G qui tolèrent 1.500 mA ou moins de XM-L qui supportent jusqu'à 3.000mA ?

Tous calculs faits, le rendement des XM-L est un peu supérieur à celui de XP-G; malgré le prix d'achat un peu supérieur des XM-L cette dernière est plus rentable ... jusqu'à ce qu'on dépasse 1.500 mA car à partir de ce moment il faut 2 XP-G consommant moitié moins donc leur rendement augmente.



Par exemple à 1.500 mA le rendement dune XP-G = 97 Lm/W alors que celui d'une XM-L = 108 Lm/W : 11% de plus.

Mais à 1.501 mA le rendement d'une XM-L = 108 Lm/W mais celui de 2 XP-G chacune à 750 mA atteint 123 Lm/W : 14% de plus que la XM-L !

Et l'amortissement du coût supplémentaire pour acheter 2 XP-G et leurs lentilles plutôt qu'une seule XM-L ?

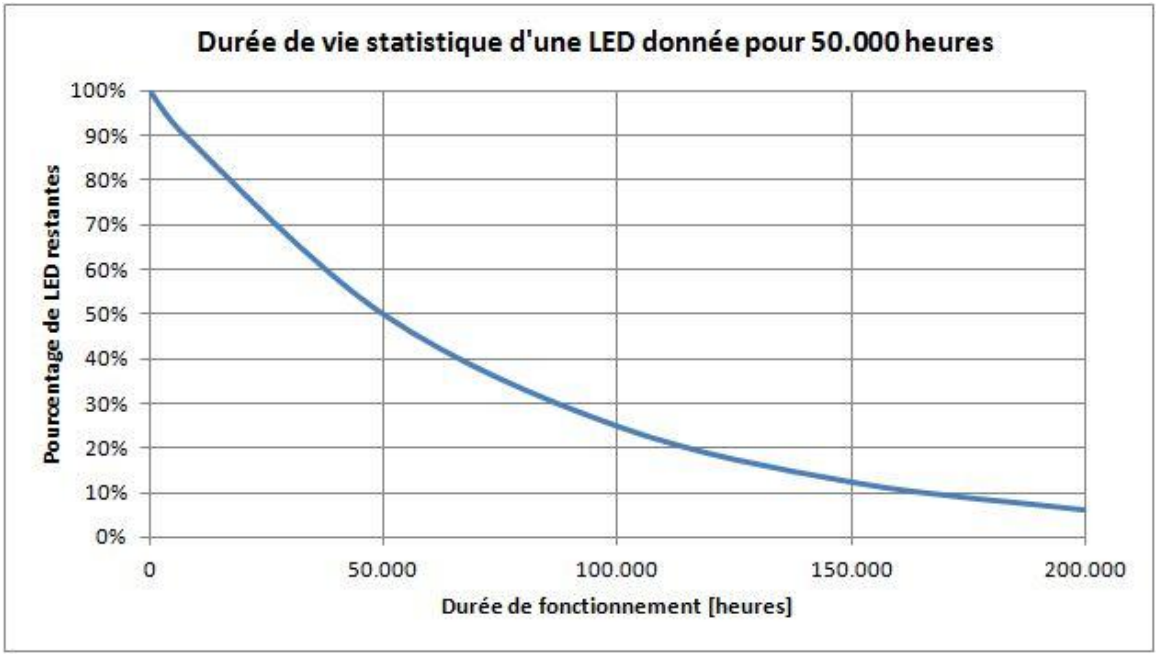
Pour un même flux de 925 Lm, la différence de coût d'une XM-L alimentée sous 3.000 mA par rapport à 2 XP-G alimentées chacune à 1.450 mA est amortie après 12 mois.

7) Quel dissipateur ?

La **durée de vie** est une mesure statistique qui signifie que, sur un grand nombre de composants, la moitié aura rendu l'âme après un temps de fonctionnement égal à la durée de vie.

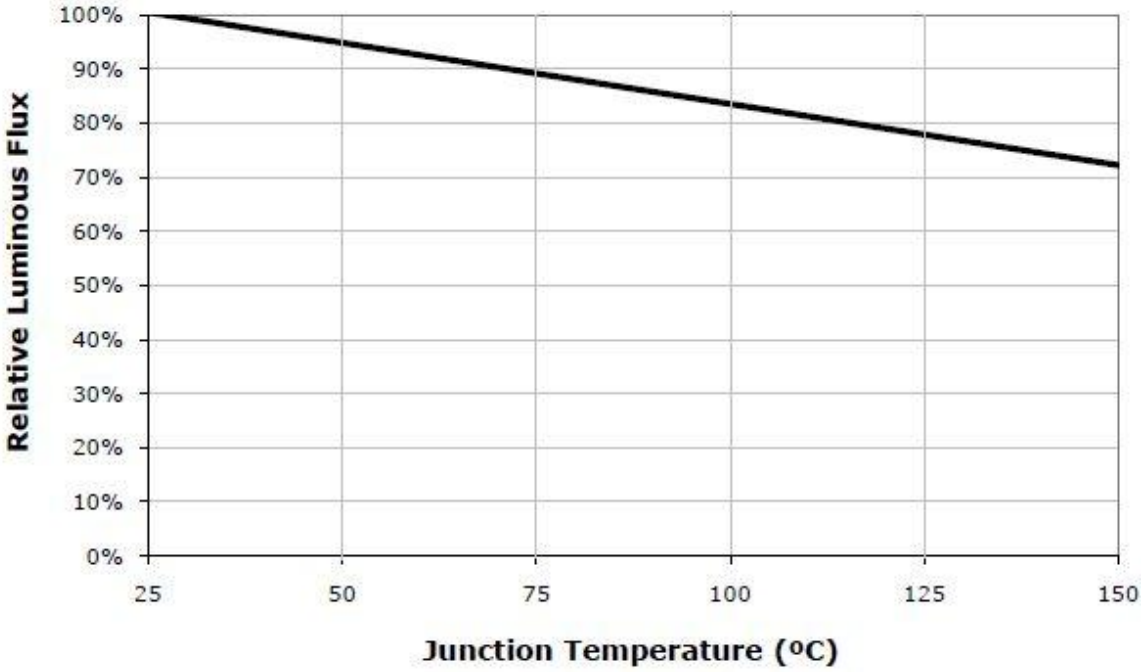
Par exemple si la durée de vie d'un échantillon de 1.000 LEDs est donnée pour 50.000 heures, il en restera 500 après 50.000 heures mais il en restera encore 250 après 100.000 heures, 125 après 150.000 heures etc.

Mais ceci signifie aussi qu'une LED claquera déjà après 72 heures : si on tombe sur le mauvais numéro …



La durée de vie d'une LED diminue quand sa température augmente.

Ainsi une Cree de 5W alimentée sous 1.500 mA (5W) bien refroidie dont la température de semelle ne dépasse pas 40° vivra statistiquement plus longtemps que la même Cree alimentée sous 1.000 mA (3W) mal refroidie dont la température de semelle atteint 60°.



Le **rendement** dépend aussi de la température au cœur de la LED (jonction) : de 100% à 25°C il diminue de 28% à 150°C.

Une LED transforme environ 60% de l'énergie électrique qui lui est fournie en énergie lumineuse et 40% en chaleur.

Durée de vie et rendement sont deux bonnes raisons de bien refroidir une LED.

- Principe de la dissipation thermique

L'énergie thermique produite par le cœur de la LED, qu'on appelle « jonction », doit traverser successivement l'espace entre la jonction et la base de la LED, puis entre la base et le dissipateur, puis entre le dissipateur et l'air autour du dissipateur qu'on appelle « ambiance ».

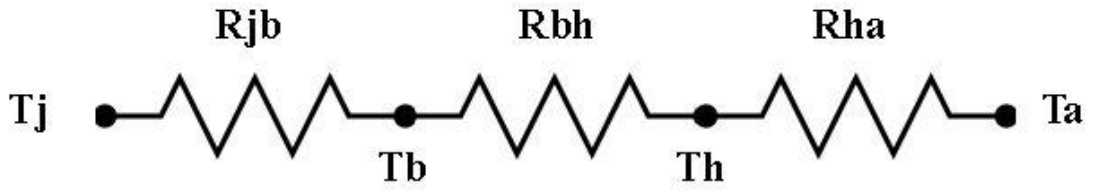
On appelle « résistance thermique » l'aptitude d'un élément à s'opposer au passage de l'énergie thermique ; elle est égale à la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'élément et la puissance qui le traverse.

Par exemple si une LED produit 10W d'énergie thermique, que la température de son cœur atteint 100°C et que la température de sa base descend à 60°C alors la résistance thermique entre la jonction et la base sera de (100°C – 60°C) / 10W = 4°/W.

C'est par exemple la résistance thermique jonction-base d'une Cree XP-G

$$R_{jb} = 4°/W.$$

A chaque étape jonction – base – dissipateur – ambiance la température diminue pendant que l'énergie travers la chaine de résistances successives :



L'indice « h » signifie « heatsink » (dissipateur).
Pour calculer la température de jonction t_j, il suffit donc de faire la somme des résistances thermiques ($R_{jb} + R_{bh} + R_{ha}$), de la multiplier par la puissance à dissiper et d'y ajouter la température ambiante.

$$t_j = t_a + (R_{jb} + R_{bh} + R_{ha}) \times P$$

La résistance entre la LED et le dissipateur R_{bh} est réduite en utilisant de la pâte ou de la colle thermique ; elle dépend de la conductivité thermique de la pâte, de sa superficie et de son épaisseur ; la conductivité s'exprime en Watts par mètre et par Kelvin ; sa résistance thermique est égale à

$$R_{th} = \frac{épaisseur}{conductibilité\ x\ superficie}$$

Epaisseur et superficie doivent s'exprimer en m et en m² ; par exemple la résistance d'une couche de 0,1 mm (0,0001 m) de pâte Arctic Silver 5 (conductibilité : 18 W/mK) sur une Multichip de 50W (superficie : 4 cm² (0,0004 m²)

$$R_{th} = \frac{0{,}0001}{18\ x\ 0{,}0004} = 0{,}014\ °/W$$

Si la Multichip de 50W dissipe 20W en chaleur, la différence de température entre sa base et le dissipateur sera de l'ordre de 20 W x 0,014 °/W = 0,3°C.

L'épaisseur de la pâte est par contre difficile à estimer.

Voici la valeur de la conductibilité de quelques pâtes thermiques ; bien que la différence soit importante, dans les même circonstances, la résistance thermique de la moins bonne (CM HTK-002 : 0,8 W/mK) ne dépasserait pas 0,3 °/W et la différence de température 6°C ; il est donc inutile de trop se tracasser à ce sujet ; en prenant une grosse marge je considérerai que la résistance thermique de la pâte **R_{bh} = 0,5°/W**.

	Conductivité Thermique (W/mK)
Shin-Etsu G751	4,63
OCZ Ultra II	8
CM PTK-002	4,5
CM HTK-002	0,8
Titan	7,5
Aero 700	7,5
Arctic Ceramique	14
Arctic Silver 5	18
Arctic Alumina	4

- <u>Résistance thermique du dissipateur</u>

La résistance thermique de la LED R_{jb} dépend de la LED choisie.

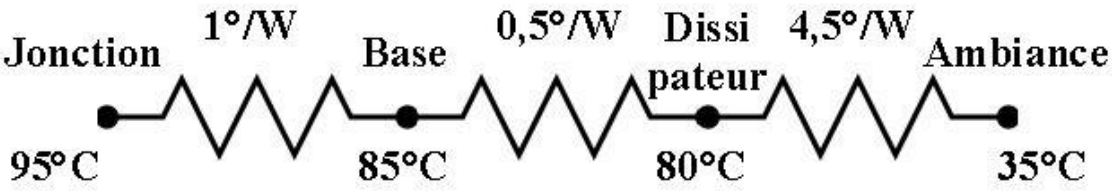
Le problème revient donc à trouver un dissipateur adéquat c'est-à-dire avec lequel la température du dissipateur reste raisonnable, pour ne pas s'y brûler, et que la température de jonction ne soit pas trop élevée afin de préserver le rendement.

$$R_{ha} = \frac{t_j - t_a}{P} - R_{jb} - R_{bh}$$

Par exemple, la résistance thermique R_{jb} entre jonction et base d'une Multichip d'une puissance P de 10W est d'environ 1°/W ; on estime la résistance de la base R_{bh} à 0,5°/W ; si on souhaite que la température de jonction ne dépasse pas 100°C avec une température ambiante (dans la rampe) de 35°C, il faudra un dissipateur dont la résistance thermique R_{ha} est inférieure à

$$R_{ha} < \frac{100 - 35}{10} - 1 - 0{,}5 = 5°/W$$

Voici par exemple l'évolution de la température le long de la chaîne d'une LED de 10W avec un dissipateur dont la résistance thermique R_{th} = 4,5°/W.

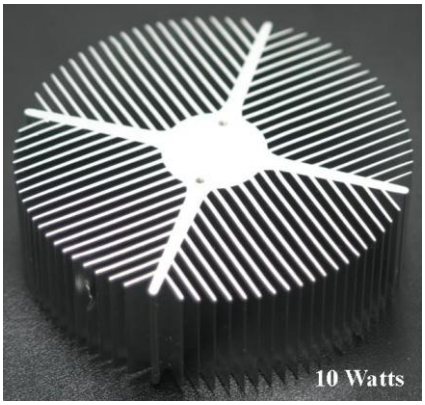


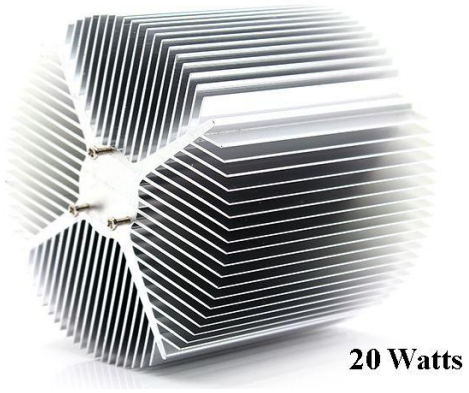
A noter que, bien que la température de jonction soit acceptable (95°C) celle du dissipateur (80°C) est exagérée ; il faudra donc utiliser un dissipateur plus performant.

- Dissipateurs individuels

Si on souhaite installer un dissipateur par LED, il suffit donc d'en trouver un qui réponde à ce critère ; encore faut-il que cette caractéristique soit mentionnée avec le dissipateur comme celui-ci-contre : 4,5°/W.

A défaut il faudra faire confiance à son intitulé comme « dissipateur pour LED 10W ».





A partir d'une puissance de 30W, la résistance thermique nécessaire devient trop faible pour que les dimensions d'un dissipateur passif restent raisonnables ; il faut y ajouter un ventilateur ; l'ensemble dissipateur + ventilateur s'appelle « ventirad » ; on peut utiliser les ventirads prévus pour refroidir les processeurs de PC.

Leur capacité à dissiper la chaleur ne s'exprime plus via leur résistance thermique mais via leur TDP (Thermal Design Power) c'est-à-dire la puissance qu'ils sont capables de dissiper ; il faudra choisir une TDP au moins supérieur à la puissance de la LED à refroidir.

Voici par exemple le ventirad Akasa AK-865 utilisé sur mes Multichips de 50W, qui ne mesure que 50 mm de haut pour un TDP de 89W et ne coûtait en 2011 que 7€.

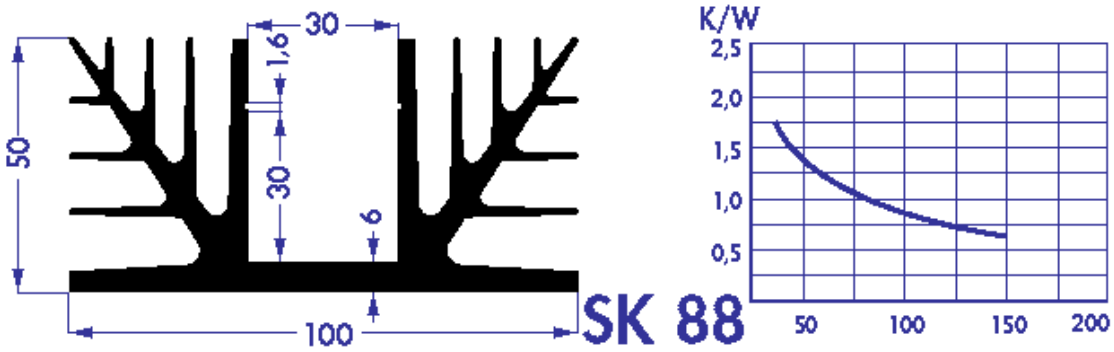
La difficulté est que tous les fabricants, et il y en a beaucoup, n'indiquent pas toujours la TDP mais plutôt le processeur auquel le ventirad est destiné ; il faut alors croiser l'information avec la puissance dissipée par tel processeur ce qui devient fastidieux.

- <u>Dissipateurs collectifs</u>

Quand le nombre de LEDs est important, le coût des dissipateurs individuels peut devenir prohibitif ; on peut installer plusieurs LEDs sur un dissipateur collectif qui existe sous forme de profilé normalement de 1m de long mais qui peut être (pré)découpé en longueurs.

Comment choisir le dissipateur adéquat en fonction de la résistance thermique requise ?

Normalement on trouve la résistance thermique de ces dissipateurs sous forme de graphique, comme par exemple le profilé SK88 ci-dessous



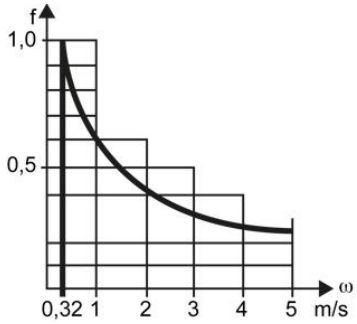
Ce graphique suppose que l'élément à refroidir se trouve au centre du profilé ; il ne convient pas à une source de chaleur répartie comme le seront les LEDs tout le long du dissipateur ; qu'à cela ne tienne, si on doit par exemple installer 10 LEDs sur un dissipateur de 1m de long, il suffit de considérer qu'il s'agit de 10 dissipateurs mesurant chacun 10 cm placés les uns à côté des autres ; la résistance thermique du SK88 pour une longueur de 10 cm est, selon le graphique, d'environ 0,9°/W et on pourra faire le calcul avec cette valeur en considérant la puissance à dissiper par une seule LED.

Et si on met 2 LEDs côte à côte tous les 10 cm ?

Il suffira de faire le calcul avec la R_{th} trouvée sur le graphique et la puissance dissipée par 2 LEDs !

Comme pour les dissipateurs individuels, les fabricants ne fournissent pas toujours le graphique en question mais indiquent par exemple « convient pour 48 LEDs de 4W » soit une puissance totale admissible de 192 W et il faudra alors leur faire confiance.

Comme pour les dissipateurs individuels, les dissipateurs collectifs peuvent être équipés de ventilateurs pour augmenter leurs performances qui dépendent, comme le montre le graphique ci-contre de la vitesse de circulation de l'air sur les ailettes.

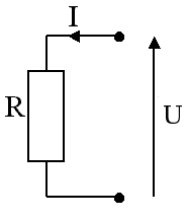


Le facteur f est à appliquer à la résistance thermique du dissipateur ; par exemple un dissipateur ayant une R_{th} de 5°/W aura une R_{th} de 5 x 0,5 = 2,5°/W si l'air y circule à la vitesse de 1,5 m/s..
Cette vitesse est cependant difficile à estimer, le seul moyen étant de faire des essais.

8) Quel driver ?

- Rappel de la loi d'Ohm

La différence de potentiel ou tension U (en volts) aux bornes d'une résistance R (en ohms ou Ω) est proportionnelle à l'intensité du courant électrique I (en ampères) qui la traverse.



$$U = R \times I$$

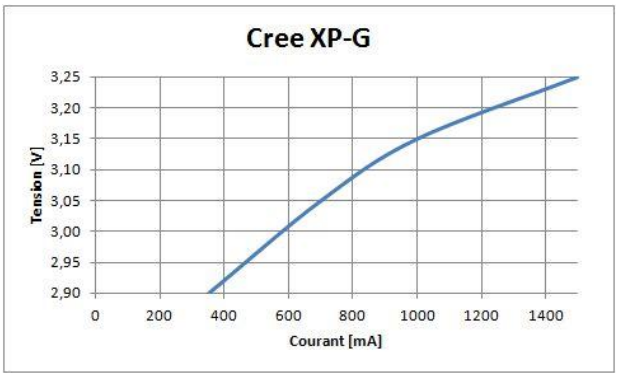
La résistance est par définition le rapport entre le courant et la tension; lorsque la résistance d'un élément est fixe, tension et courant restent dans les mêmes proportions (si on double le courant, la tension double aussi ; on dit que la relation est linéaire.

On peut facilement calculer la puissance P dissipée par la résistance : $P = U \times I$

- « Résistance » d'une LED

On peut aussi définir la résistance d'une LED, égale au rapport entre tension et courant.

Cette résistance n'est cependant pas constante, elle dépend du courant qui la traverse : elle diminue quand le courant augmente.



Une LED se comporte donc comme une résistance à coefficient négatif.

Exemple avec une LED Cree XP-G selon data-sheet Cree

350 mA ➔	2,90V : R = 8,30 Ω
700 mA ➔	3,05V : R = 4,36 Ω
1.000 mA ➔	3,15V : R = 3,15 Ω
1.500 mA ➔	3,25V : R = 2,17 Ω

Si on l'alimente en tension, à 3,2V dans le but d'obtenir une puissance de 4W (courant de 1.250 mA) et que la tension augmente de 0,1V (3%) le courant augmente de 30% (+375 mA) et la puissance atteint 5,4W sous 1.625 mA : les limites sont dépassées.

Si on l'alimente en courant à 1.250 mA et que le courant augmente de 3% (1.288 mA) la tension n'augmente que de 0,3% (0,01V) et la puissance ne dépasse pas 4,13W; on a donc une stabilisation automatique.

Pour alimenter une LED en tension il faudrait donc une alimentation d'une grande précision et surtout d'une grande stabilité (alimentation de laboratoire) alors qu'une précision de quelques pourcents est suffisante avec une alimentation régulée en courant.

C'est la raison pour laquelle **il faut alimenter une LED en courant** à l'aide d'une alimentation qui fournit un courant régulé et une tension supérieure d'au moins 10% à la tension dont la LED aura besoin à ce courant.

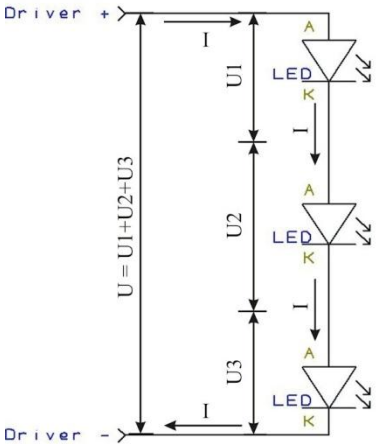
- <u>Rappel des lois de Kirchhoff</u>

Un même driver peut alimenter plusieurs LEDs en série et/ou en parallèle.

Si on câble plusieurs LEDs en série, les tensions s'additionnent.
La tension U que le driver doit fournir est égale à la somme des tensions des LEDs en série

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

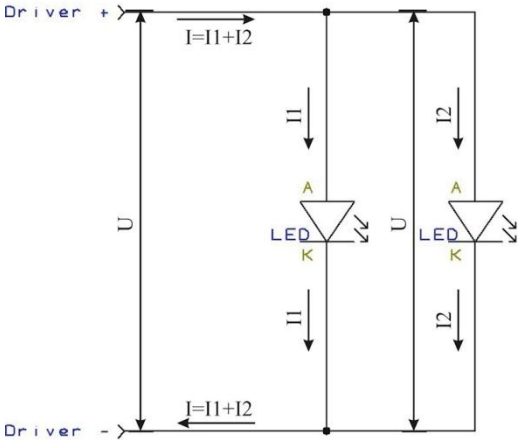
C'est la loi des mailles.
Le courant reste le même tout au long de son cheminement.
Le courant I que le driver doit fournir est égal au courant qui traverse chaque LED.



Si on câble plusieurs LEDs en parallèle, les courants s'additionnent.
Le courant I que le driver doit fournir est égal à la somme des courants des LEDs en parallèle

$$I = I_1 + I_2$$

C'est la loi des nœuds
La tension U que le driver doit fournir est égale à la tension aux bornes de chaque LED.

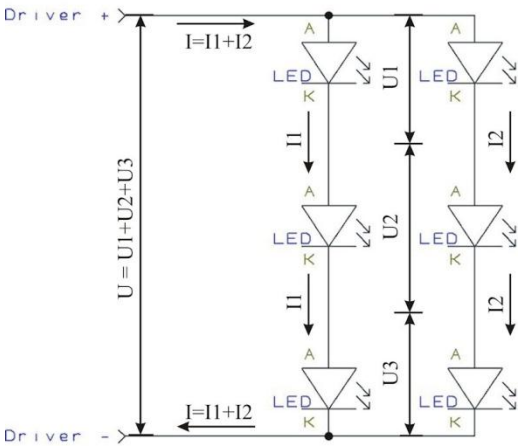


Si on câble plusieurs LEDs en série-parallèle, les courants et les tensions s'additionnent.
Le courant I que le driver doit fournir est égal à la somme des courants des LEDs en parallèle

$$I = I_1 + I_2$$

La tension U que le driver doit fournir est égale à la tension aux bornes de chaque LED.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$



Les LEDs dont on dispose peuvent donc être alimentées de nombreuses manières.

Par exemple 24 LEDs demandant chacune 3,2V sous 1.250 mA peuvent être alimentées par un seul driver en les configurant

24 LEDs en série	le driver doit fournir 24 x 3,2 = 76,8V sous 1 x 1.250 = 1.250 mA
2 groupes en parallèle chaque groupe contenant 12 LEDs en série	38,4V 2.500 mA
3 groupes en parallèle chaque groupe contenant 8 LEDs en série	25,6V 3.750 mA
4 groupes en parallèle chaque groupe contenant 6 LEDs en série	19,2V 5.000 mA
6 groupes en parallèle chaque groupe contenant 4 LEDs en série	12,8V 7.500 mA
8 groupes en parallèle chaque groupe contenant 3 LEDs en série	9,6V 10.000 mA
12 groupes en parallèle chaque groupe contenant 2 LEDs en série	6,4V 15.000 mA
24 LEDs en parallèle	3,2V 30.000 mA

Mais on peut aussi utiliser 2 drivers alimentant chacun 12 LEDs ou 3 alimentant chacun 8 LEDs etc …

- <u>Choix des drivers</u>
  1. Il faut donc commencer par envisager toutes les combinaisons possibles de LEDs en série-parallèle, et ce pour 1 driver, 2 drivers, … jusqu'à autant de drivers que de LEDs.
     Au passage, on peut déjà éliminer quelques impossibilités ; il est inutile d'envisager par exemple l'emploi de 2 drivers si on veut alimenter 9 LEDs : le nombre de drivers doit être un diviseur du nombre de LEDs.
  2. Pour chaque combinaison il faut trouver un driver dont la tension maximum est supérieure d'environ 10% à la tension des LEDs en série.
     Par exemple avec une combinaison de 4 groupes en parallèle chaque groupe contenant 6 LEDs en série, la tension aux bornes des LEDs sera 6 x 3,2 = 19,2V.
     Il faut choisir une tension disponible au moins égale à 19,2 + 10% = 21,12V.
     On retiendra le premier driver trouvé qui répond à cette condition, par exemple tension max driver = 24V.
  3. On calcule la puissance du driver en multipliant **sa** tension par le courant dont les LEDs en parallèle ont besoin.
     Poursuivant l'exemple (4 groupes en parallèle chaque groupe contenant 6 LEDs en série) le driver devra fournir 4 x 1.250 = 5.000 mA.
     Il faut choisir une puissance disponible au moins égale à 24 x 5 = 120 Watts.

  Vu le très grand nombre de combinaisons possibles, un logiciel qui sera décrit ultérieurement permettra d'envisage toutes ces combinaisons.

9) Quel gradateur (dimmer) ?

- Utilité d'un dimmer

  Pour les coraux, un dimmer n'est pas indispensable ; il est surtout utile pour les poissons, principalement lors de l'extinction progressive qui leur permet de rejoindre paisiblement l'endroit où ils vont passer la nuit.

  Il est intéressant aussi visuellement pour simuler le lever et le coucher de soleil ; à ce propos on constate souvent que c'est l'éclairage bleu qui est allumé en premier et éteint en dernier ; ceci est une habitude qui provient vraisemblablement du temps des HQI où on n'avait rien d'autre que les tubes bleus pour assurer la transition ; cependant la lumière solaire au lever et au coucher n'est pas bleue : elle est rouge ; sur cette base ce sont plutôt les LEDs blanches qu'on devrait allumer en premier et éteindre en dernier, et les épauler par les bleues une fois le « soleil » levé.

  Ceci dit, certains aiment voir leur bac éclairé seulement en bleu : les gouts et les couleurs …

  Mais surtout le gradateur permet de régler finement l'éclairement de la rampe et aussi sa CCT en dosant les LEDs blanches par rapport aux bleues.

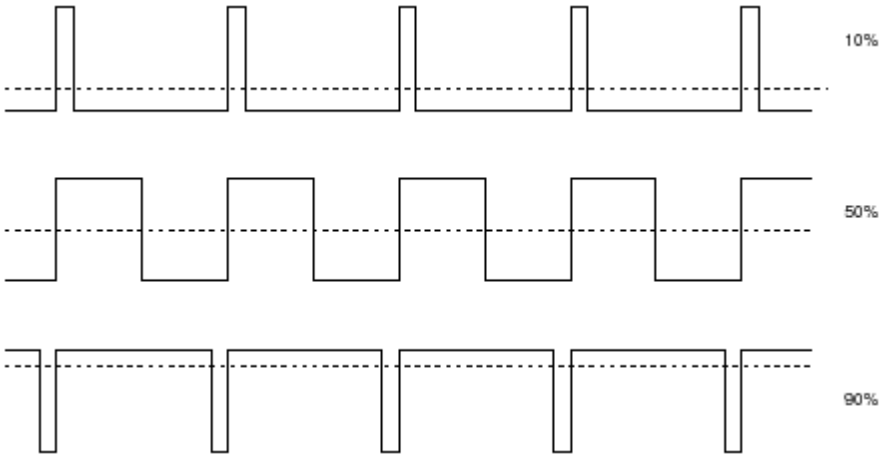
- Comment dimmer ?

  Il faut donc pouvoir réduire le courant fourni par le driver de 100% à 0% ; 2 techniques :

  1. analogique : cette méthode est seulement citée comme mémoire car elle gaspille beaucoup d'énergie en chaleur ;
  2. par découpage : le courant envoyé dans les LEDs est toujours à 100% mais il est découpé à une fréquence suffisamment élevée pour que notre œil ne voie pas le clignotement : au minimum plusieurs centaines de fois par secondes, 65.000 fois avec les drivers MeanWell (65 kilo-Hertz noté 65 kHz).

     Ainsi si les LEDs sont éteintes pendant 50% du temps (courant nul) et au maximum (courant max) pendant 50% du temps, le flux moyen sera 50% du flux max ; c'est ce qu'on appelle une « modulation en largeur d'impulsion » (MLI) ou PWM (Pulse Width Modulation).

     Le courant bascule très rapidement de 0 à 100% et vice versa par l'intermédiaire d'un « interrupteur » pratiquement sans perte (minime lors des commutations).

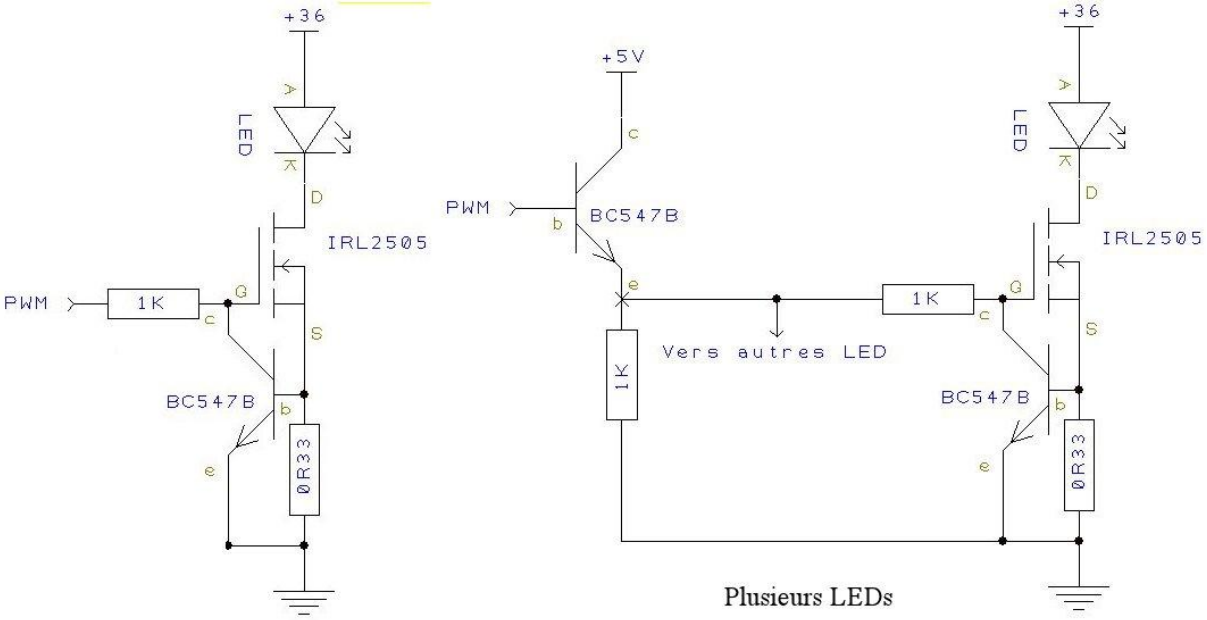


- <u>Comment découper le courant ?</u>

  Ce découpage peut être confié

  - soit au driver lui-même, auquel cas il faut choisir un driver « dimmable » ; ceux-ci ne pouvant souvent pas « descendre » jusque zéro il y a lieu de prévoir un autre système pour éteindre complètement les LEDs ;
  - soit à un « générateur de courant » situé en aval du driver qui sera dans ce cas à tension constante.

    Exemples de générateurs de courant : carte Alpheus (max 1.200 mA mais il semble que la production est arrêtée), driver Babyfish à contrôleur intégré (voir plus loin) : 4 canaux de max 48V 3A chacun, MeanWell série LDD jusque 1.000 mA mais des version avec courant plus important sont annoncées, et pour les électroniciens bricoleurs voici le schéma d'un générateur de courant pilotable en PWM



- <u>Contrôleur</u>

  Pour lui faire savoir quel courant il doit envoyer, il faut transmettre au générateur de courant, qu'il soit interne ou externe au driver, un message codé qui peut prendre 3 formes

  1. Une résistance fixe ou variable : ceci permet d'ajuster le courant mais pas de le faire varier pour les levers/couchers de soleil ;
  2. Une tension variable conventionnellement entre 0 et 10V ;
  3. Un signal PWM de 0 à 100% complètement indépendant du découpage PWM du courant : 0-10V et 100Hz à 3kHz.

  Pour les 2 dernières possibilités, il existe plusieurs solutions pour produire un tel signal : microcontrôleur notamment à base d'Arduino, Rapidled DDC-02 PWM Controller aux possibilités limitées ou Babyfish (4 canaux, version avec ou sans générateur de courant intégré).

10) Synthèse

Je reprends de A à Z la marche à suivre pour arriver à la combinaison idéale pour un bac donné en fonction des critères de chacun :

1) Décider de la CCT à adopter
   si possible en allant voir d'autres aquariums, pour estimer leur CCT d'après leur composition, ou en se basant sur les spécifications du constructeur de la rampe qui l'équipe, éventuellement à l'aide d'un de ces 2 logiciels CCT d'une combinaison de sources et Combinaison de LED Cree, ou en la mesurant à l'aide du logiciel disponible ici http://www.rudyv.be/Aquarium/Calculateurs.
   À défaut 15.000K est une bonne valeur de départ.

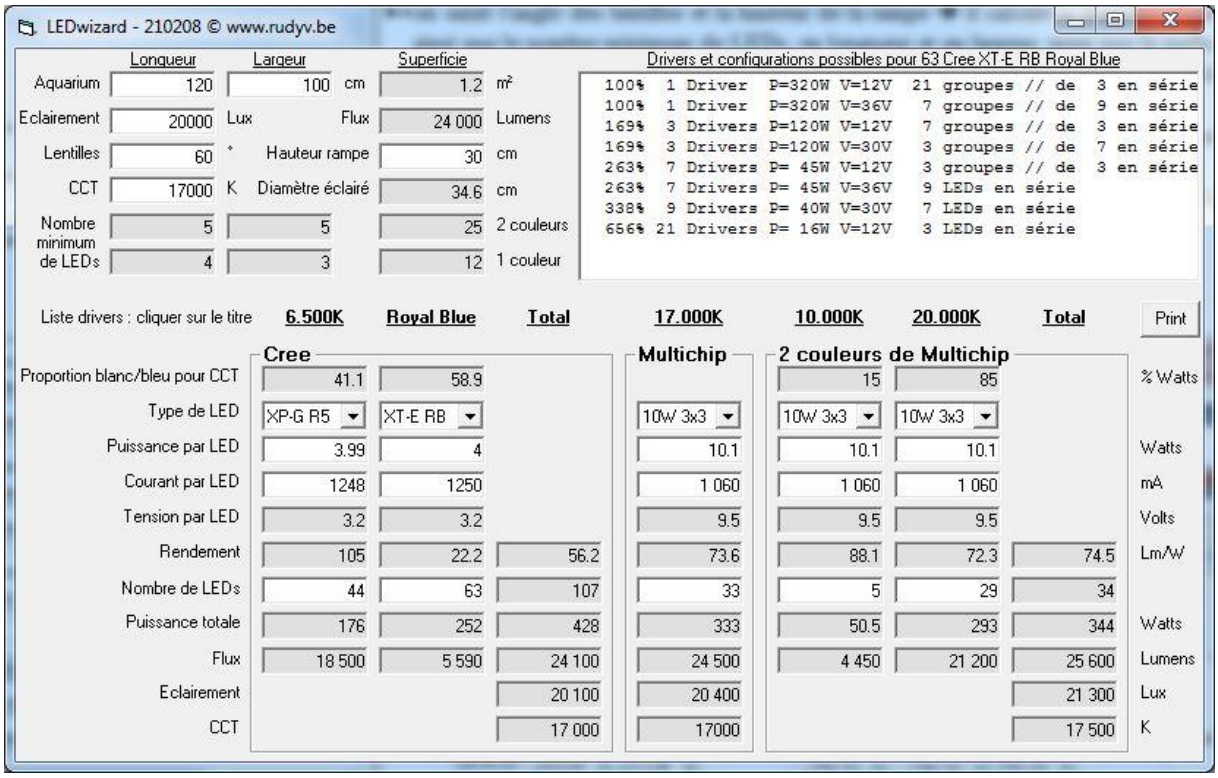
2) Décider de l'éclairement à adopter
   si possible en allant voir d'autres aquariums, en estimant leur éclairement d'après leur composition (par exemple l'éclairement d'un aquarium sous T5 ou HQI atteindra environ 55 Lux par watt et par m²), ou en se basant sur les spécifications du constructeur de la rampe qui l'équipe, ou mieux en la mesurant à l'aide d'un luxmètre ou du logiciel disponible ici http://www.rudyv.be/Aquarium/Calculateurs.
   À défaut 20.000 Lux est une bonne valeur de départ.

3) Calculer la puissance de LEDs nécessaire en retenant pour l'instant 3 possibilités
   1) Mélange de Cree XP-G R5 et de XT-E Royal blue ;
      les calculs peuvent être faits en utilisant le logiciel disponible ici Combinaison de LED Cree
   2) Mélange de Multichip 10.000 et 20.000K ;
   3) Multichips toutes de la même couleur.
4) Estimer le nombre **minimum** de LEDs à mettre en œuvre en fonction des dimensions du bac, de la hauteur de la rampe et des lentilles utilisées.
   Plusieurs approximations successives seront nécessaires afin d'obtenir une répartition uniforme de l'éclairage, en modifiant chaque fois la hauteur et l'angle des lentilles.
   Le logiciel Répartition de l'éclairage permet de visualiser la répartition obtenue.
5) Calculer la puissance dissipée par les LEDs et choisir les dissipateurs en conséquence.
6) Choisir un driver en envisageant les combinaisons possibles de LEDs en série-parallèle en tenant compte du fait qu'on souhaite un driver dimmable ou pas.

11) Magicien

Afin de simplifier tous ces calculs, un logiciel qui fonctionne conformément à cette démarche est disponible ici LED wizard

- on saisit les dimensions de l'aquarium ➔ il calcule la superficie ;
- on saisit l'éclairement souhaité (en Lux) ➔ il calcule le Flux (en lumens) ;
- on saisit l'angle des lentilles et la hauteur de la rampe ➔ il calcule le diamètre éclairé ainsi que le nombre minimum de LEDs, en longueur et en largeur, pour que la surface de l'eau soit uniformément éclairée, et ce avec des LEDs d'une seule couleur ou des LEDs de 2 couleurs différentes ;
  pour l'instant on ne peut choisir que des LEDs Cree XP-G et XT-E mais le programme est prévu pour accepter d'autres types à l'avenir.
  Pour les Multichips on peut choisir des modèles de 10, 20, 30 et 50W et là aussi les extensions sont facilement possibles.
- on saisit enfin la CCT souhaitée.



Le programme calcule ensuite

- la puissance, le courant, la tension et le rendement de chaque type de LED ainsi que le rendement global
- le nombre de LEDs de chaque type à mettre en œuvre
- la puissance et le flux totaux
- et enfin l'éclairement en Lux et la CCT résultante.

Et ce

- pour la combinaison calculée de Cree blanches et Royal Blue
- pour une Multichips de la CCT souhaitée
- pour la combinaison calculée de Multichips 10.000 et 20.000K

En cliquant sur le titre des colonnes le programme établit la liste de toutes les combinaisons série-parallèle possibles ainsi que des drivers qui permettent de l'alimenter.

Le programme prend en compte les tensions et puissances des drivers MeanWell dont la large gamme est facilement disponible à savoir
Tensions : 12, 15, 20, 24, 30, 36, 42, 48 et 54 Volts
Puissances : 12, 16, 18, 20, 25, 30, 40, 40, 45, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100, 120, 150, 160, 185, 240 et 320 Watts.

Les possibilités sont classées par « coût relatif » croissant, les moins chers recevant un coût relatif de 100% ; il est peut-être intéressant de payer un peu plus cher pour avoir plus d'un driver afin qu'en car de panne la rampe fonctionne encore en partie.

Il faudra probablement modifier le nombre de LEDs préconisé par le programme qui recalculera alors puissance, flux, éclairement et CCT ; ceci est notamment nécessaire si le nombre de LEDs préconisé ne permet pas de trouver un driver raisonnable, par exemple si le nombre est premier.

Il est de toute façon prudent d'augmenter un peu le nombre de LEDs pour avoir une réserve de puissance, surtout les bleues car si la CCT résultante est trop élevée, on pourra diminuer leur intensité sans grever la luminosité alors que le contraire n'est pas possible.

Enfin le bouton « Print » permet d'imprimer sur l'imprimante par défaut du PC un récapitulatif dont un exemple figure ci-dessous.

LED wizard

Aquarium : 120 x 100 cm = 1.2 m²
Lentilles : 60° à 30 cm de l'eau
Objectif CCT : 17 000K éclairement : 20 000 Lux
Résultat CCT : 17 000K éclairement : 20 100 Lux

Total : 44 Cree XP-G R5 + 63 XT-E RB 428W 24 100 Lumens 56.2 Lm/W

44 Cree 6.500K 176W 18 500 Lumens 105 Lm/W

Coût	DRIVERs				LEDs			
rel.	Nbre	Puissance	Tension	Courant	Parall.	Série	Tension	Courant
100%	1	240W	42V	5.7A	4	11	35.2V	5.0A
100%	1	240W	15V	16.0A	11	4	12.8V	13.7A
164%	2	120W	42V	2.9A	2	11	35.2V	2.5A
218%	4	60W	42V	1.4A	1	11	35.2V	1.2A
550%	11	20W	15V	1.3A	1	4	12.8V	1.2A

63 Cree Royal Blue 252W 5 590 Lumens 22.2 Lm/W

Coût	DRIVERs				LEDs			
rel.	Nbre	Puissance	Tension	Courant	Parall.	Série	Tension	Courant
100%	1	320W	36V	8.9A	7	9	28.8V	8.8A
100%	1	320W	12V	26.7A	21	3	9.6V	26.3A
169%	3	120W	30V	4.0A	3	7	22.4V	3.8A
169%	3	120W	12V	10.0A	7	3	9.6V	8.8A
263%	7	45W	36V	1.3A	1	9	28.8V	1.3A
263%	7	45W	12V	3.8A	3	3	9.6V	3.8A
338%	9	40W	30V	1.3A	1	7	22.4V	1.3A
656%	21	16W	12V	1.3A	1	3	9.6V	1.3A

LEDwizard - 140301 © www.rudyv.be - Hervé 2014

12) Bonnes adresses

Un tutoriel qui explique la construction en pratique http://www.atoll-ra.fr

Réalisation de ma rampe LED

http://www.rudyv.be/Aquarium/Bricolages/EclairageLED/EclairageLED.htm

Quelques autres réalisations http://www.rudyv.be/Aquarium/RVRT/DIY.php