



HAL
open science

Optimisation de l'efficacité des LED grâce à la topologie et du niveau de courant

Angel Barroso, Pascal Dupuis, Corinne Alonso, Georges Zissis

► To cite this version:

Angel Barroso, Pascal Dupuis, Corinne Alonso, Georges Zissis. Optimisation de l'efficacité des LED grâce à la topologie et du niveau de courant. La Revue 3E.I, 2015, 82, pp.59-64. hal-01235338

HAL Id: hal-01235338

<https://hal.science/hal-01235338v1>

Submitted on 30 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimisation de l'efficacité des LED grâce à la topologie et du niveau de courant

Angel Barroso^{1, 2, 3}, Pascal Dupuis¹, Corinne Alonso^{1, 3}, Georges Zissis^{1, 2}

1 Université de Toulouse, LAPLACE, UMR 5213 (CNRS, INPT, UPS), 118 Route de Narbonne, 31062, Toulouse cedex 9, France

2 Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31400, Toulouse, France

3 CNRS, LAAS, 7 Avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

Email : Angel.barroso@laplace.univ-tlse.fr

RESUME – Les Diodes Electro-Luminescentes (DEL ou LED : Light Emitting Diodes en anglais) sont des composants semi-conducteurs qui, combinés à un luminophore, émettent de la lumière avec une très bonne efficacité (indépendamment de l'alimentation) surpassant les sources de lumière conventionnelles. Les LEDs sont généralement associées sous diverses topologies pour former des sources ou luminaires dites à LED. Bien que leur efficacité au niveau de chaque composant élémentaire soit très bonne, elle peut chuter à cause de plusieurs facteurs comme les optiques, les pertes électriques ou l'impact thermique. Nous étudions l'influence d'associations et du niveau de courant appliqué sur l'efficacité des LED en simulation et avons validé notre approche par des résultats expérimentaux.

MOTS-CLES – Diode Electroluminescente – LED – Efficacité lumineuse – Topologie – Caractérisation – Rendement électrique.

1. Introduction

Notre sens de la vision résulte de la détection d'une partie du spectre électromagnétique spécifique, ce dernier compris entre 380 et 780 nm : la lumière. Dans notre environnement, cette lumière est produite par le soleil en vision directe, elle peut aussi nous arriver par vision indirecte à travers le ciel, les nuages ou la réflexion de la lune. Depuis la nuit des temps, les hommes ont eu recours à plusieurs techniques pour générer artificiellement de la lumière lorsque les sources naturelles étaient absentes. De nos jours, les systèmes d'éclairage utilisent l'énergie électrique pour fonctionner contrairement aux précédents systèmes qui utilisaient des combustibles comme source [1][15]. La production de lumière par incandescence est apparue en 1878 avec la lampe à filament inventée par T. Edison et gagna rapidement de la popularité en dépit d'une très faible efficacité. Seulement 7% de l'énergie électrique introduite en lumière [15]. Cependant, vu son faible coût de production, cette méthode reste prédominante aujourd'hui. Une autre méthode de production de lumière est basée sur les électrons couplés à ions soumis à une transition énergétique par des électrons. Les appareils utilisant cette approche aussi appelée « plasma » sont par exemple, les sources fluorescentes, les sources sodium, les sources à vapeur de mercure ou les sources à iodures métalliques. L'approche initiale peut être mise en œuvre dans un semi-conducteur, il s'agit de l'éclairage à l'état solide sur lequel repose les LED ou les OLED.[15]

Les LED possèdent des avantages comparés à la technologie incandescente comme une haute efficacité, une grande durée de vie, une insensibilité aux allumages/extinctions intempestifs, un faible dégagement de chaleur, etc... Ces composants peuvent être alimentés en courant ou en tension continue. Pour que les sources lumineuses à LED fonctionnent sur le réseau alternatif, elles sont associées à des convertisseurs AC/DC fonctionnant en étage d'adaptation avec le réseau mais entraînant des pertes d'énergie. Le mot « LED » est souvent associé au mot « efficacité ». Ce qui est vrai car elles peuvent atteindre des valeurs impressionnantes de 80 et 10 lm/W comparé aux lampes à incandescence ayant des efficacités qui entre 14 et 17 lm/W. Seules les sources fluorescentes atteignent des valeurs comparables et les sources sodium montent à des valeurs de 120 lm/W. La prochaine génération de LED promet des taux proches de 250 lm/W.

Cependant, une LED seule ne pourra jamais générer le flux lumineux requis pour atteindre un éclairage de qualité à l'échelle d'une pièce. En conséquence, c'est la combinaison de plusieurs LED qui crée le flux lumineux global à l'intérieur d'un luminaire. Ces composants élémentaires peuvent être connectés suivant 3 topologies : série, parallèle ou matricielle. Bien que comme les cellules photovoltaïques, ces associations sont possibles, elles génèrent des effets secondaires tels que des élévations thermiques, des non-uniformités de la lumière et des surcoûts de production. En parallèle à ces problèmes, il est à noter que d'autres facteurs comme le diffuseur de lumière ou les optiques pour l'ouverture du faisceau de lumière induisent une diminution du rendement.

L'un des principaux défis à propos de la conception de luminaires est d'arriver à contrôler l'ensemble du courant parcourant les diverses chaînes de LED mises en série. En lien avec la dispersion des paramètres technologiques entre les LED, certaines topologies sont préférables à d'autres qui entraînent un trop grand déséquilibre de la répartition des courants. Ce déséquilibre peut même entraîner une hétérogénéité du flux arrivant sur les plans de travail jusqu'à générer un inconfort sur l'utilisateur. Après avoir mis au point une caractérisation systématique des LED pour étudier les diverses interactions, nous présentons les principaux résultats sur l'impact du type d'association ainsi que l'étude du courant et son impact de sa répartition et son niveau sur l'efficacité globale du dispositif à LED.

2. Matériel et méthodologie

2.1 Matériel de test

Afin d'étudier le comportement des LED et les interactions de proximité, une platine de test a été conçue de dimension 15x10 cm pour recevoir 25 LED de référence Cree Xlamp XPG2. La platine permet de tester quatre différentes topologies et d'en évaluer l'efficacité. La topologie série sera prise comme référence. Cependant, à cause de sa fiabilité critique et sa tension d'alimentation très élevée nécessaire, elle n'est en fait jamais implémentée dans les systèmes commerciaux. Généralement, les topologies sont telles que le nombre de chaînes soit égal au nombre d'éléments les constituant. Il existe 3 variations par rapport à un schéma de base :

- Toutes interconnectées, ci-après référencée comme « matrice connectée » (Fig 1a),
- Avec résistance d'équilibrage, ci-après référencé comme « matrice non connectée équilibrée » (Fig 1b),
- Sans résistance d'équilibrage, ci-après référence comme "matrice non connectée" (Fig 1c),

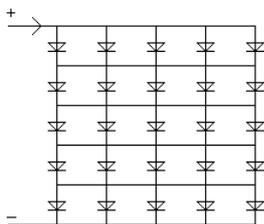


Fig 1a: Matrice connectée.

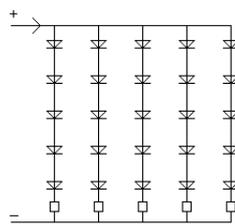


Fig 1b : Matrice non connectée équilibrée

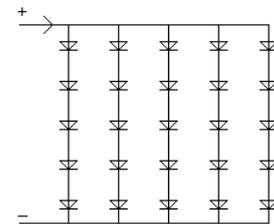


Fig 1c: Matrice non-connectée.

En se basant sur les résultats des essais expérimentaux, nous avons établi un tableau récapitulatif afin de permettre de comparer les avantages et inconvénients des diverses configurations.

Tableau 1 : Etude comparative des diverses connections

Topologie	Facilité de mise en œuvre	Fiabilité	Problème de répartition du courant	Consommation	Efficacité lumineuse	Niveau de tension
Reference série	++	--	++	+	+	--
Matrice non connectée équilibrée	+-	+-	+-	-	--	+
Matrice non connectée	+	+-	+-	+	+-	+
Matrice connectée	--	++	--	+	++	+

En termes de facilité de mise en œuvre, la topologie série est ainsi la plus simple en comparaison avec la matrice connectée qui elle nécessite le plus de connexions. Concernant la fiabilité, un défaut sur une LED de la topologie série entraîne un arrêt de fonctionnement du luminaire alors que la topologie matrice connectée permet de répartir le courant sur quatre LED en parallèle. Du coup, en cas de défaut, seule la LED défaillante arrête de fonctionner, ayant un très petit impact sur la qualité lumineuse de l'ensemble. Pour les problèmes de répartition du courant, cette configuration s'avère la plus difficile à corriger à cause des quatre nœuds par ligne de LED. Concernant la consommation, la matrice non connectée équilibrée a une consommation un peu supérieure aux autres en lien avec la présence des résistances

d'équilibrage. Pour l'efficacité lumineuse, les tests effectués indiquent que la matrice connectée à des performances supérieures aux autres. Enfin, pour le niveau de tension appliqué, il augmente avec le nombre de LED connectées en série. Donc c'est la topologie série qui est celle qui a besoin de la plus grande tension pour fonctionner posant ainsi des problèmes de sécurité au-delà de 50V.

Les différentes connexions permettant de passer d'une topologie à l'autre peuvent être modifiées aisément par soudure d'étain. Cette platine a ainsi permis de tester successivement 25 LED connectées en série, 25 connectées en matrice connectée, 25 connectées en matrice non connectée avec et sans résistance d'équilibrage.

La résistance utilisée par chaîne pour équilibrer vaut 100Ω , choisie par rapport à une moyenne observée sur des systèmes existants dans le commerce.

2.2 Protocole de mesure



Fig 2: configuration des équipements de mesure

Les mesures électriques ont été effectuées avec un source-mètre Keithley K2602A. Ce dispositif nous permet d'obtenir les caractéristiques statiques $I(V)$ des LED tels que ceux de l'exemple de la Fig 3. Les températures sont mesurées avec un thermocouple de type K. La platine de test est installée dans une sphère d'Ulbricht de 25 cm de diamètre comme on peut le voir sur la Fig 2. Un spectromètre de type Speckos 1201 mesure la luminance. Un facteur de conversion entre la luminance mesurée et le flux lumineux a été déterminé dans une seconde sphère calibrée.

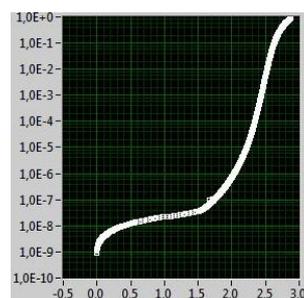


Fig 3: Caractéristiques statiques $\text{Log } I = f(V)$ d'une LED élémentaire mesurée sur la platine test.

Un protocole de mesure a été établi pour obtenir une caractéristique correcte reflétant l'efficacité lumineuse = $f(\text{puissance})$ pour chaque topologie. Pour cela, il est très important après avoir appliqué un niveau de puissance, de bien vérifier que la température de fonctionnement est stabilisée avant d'effectuer la mesure du flux lumineux. Le balayage en courant autour d'un point de fonctionnement est appliqué avec une amplitude de 40 mA. Chaque balayage est répété cinq fois (Fig 4), et à chaque niveau de courant appliqué par le Keithley, 5 points de mesures sont relevés (Fig 5). Le but ici est de détecter les dériviations qui pourraient être causées par l'impact thermique et bien vérifier que les mesures sont bien effectuées dans un régime permanent. L'impact thermique est alors minimisé en utilisant une couverture logarithmique pour le balayage en courant comme illustré dans la figure 4. De l'ensemble des mesures, nous pouvons tracer des caractéristiques comme celle de la figure 3. Nous pouvons alors extraire le point d'efficacité maximum.

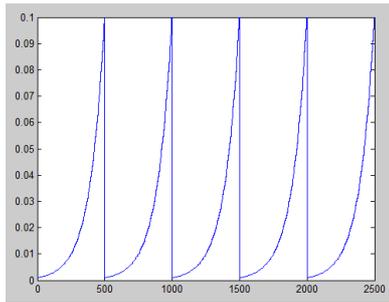


Fig 4: Courant injecté répété cinq fois

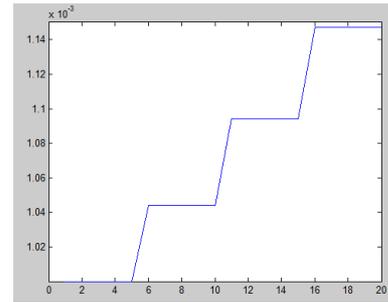


Fig 5: Cinq répétitions pour chaque point de mesure

Nous ne présentons dans ce papier que les résultats de la topologie présentant la meilleure efficacité qui est la matrice connectée (Fig 1a). Nous partons de l'hypothèse suivante : les tensions sont identiques sur une ligne de LED d'une part et que la tension sur une colonne est égale à la tension de source divisée par cinq d'autre part. Les problèmes de répartitions du courant entre les LED font qu'il n'est pas possible d'affirmer que le courant se répartit équitablement entre cinq LED en ligne. En conséquence, la deuxième voie du Keithley a été utilisée en ampèremètre et placée en série avec chaque LED étudiée afin de mesurer et évaluer la dispersion de courant.

Les LED ont été étudiées sur toute une gamme de courant qui a été défini afin d'avoir cinq valeurs à chaque décade de courant. Deux valeurs de courant sont à retenir : le courant nominal qui est donné par le constructeur pour un fonctionnement nominal et qui est fixé à 350 mA généralement par les constructeurs. Ensuite le courant dit « optimal » qui est celui permettant d'avoir l'efficacité de conversion lumineuse maximale par la LED et l'ensemble de LED qui varie selon la topologie et le type de LED.

3. Résultats expérimentaux

3.1 Efficacité lumineuse

Dans des travaux antérieurs, il a été montré [10] que l'efficacité des LED chute rapidement après quelques milliampères, cette chute est causée par l'effet Auger. Ce facteur a été confirmé lors de nos essais. Cependant, la topologie joue aussi un rôle important Fig 6. Le courant nominal pour les LED étudiées est de 350 mA mais la valeur pour laquelle l'efficacité atteint son maximum est autour de 40 mA. La différence d'efficacité entre le courant nominal et le courant optimal est entre 18 et 24% en fonction des topologies.

Après avoir comparé l'efficacité lumineuse en fonction de la puissance consommée pour chacune des topologies, il apparaît qu'un y avoir un écart d'efficacité constant entre les topologies existe quel que soit le courant injecté par la source. La différence la plus grande notée entre deux la meilleure et la pire topologie est de 15 lm/W, ce qui est équivalent à un gain de 19% de l'une par rapport à l'autre. Les topologies peuvent être classées en partant de la topologie ayant les meilleures performances jusqu'à celle ayant les moins bonnes : soit la matrice connectée, la topologie série, la matrice non connectée et la matrice non connectée avec résistance d'équilibrage.

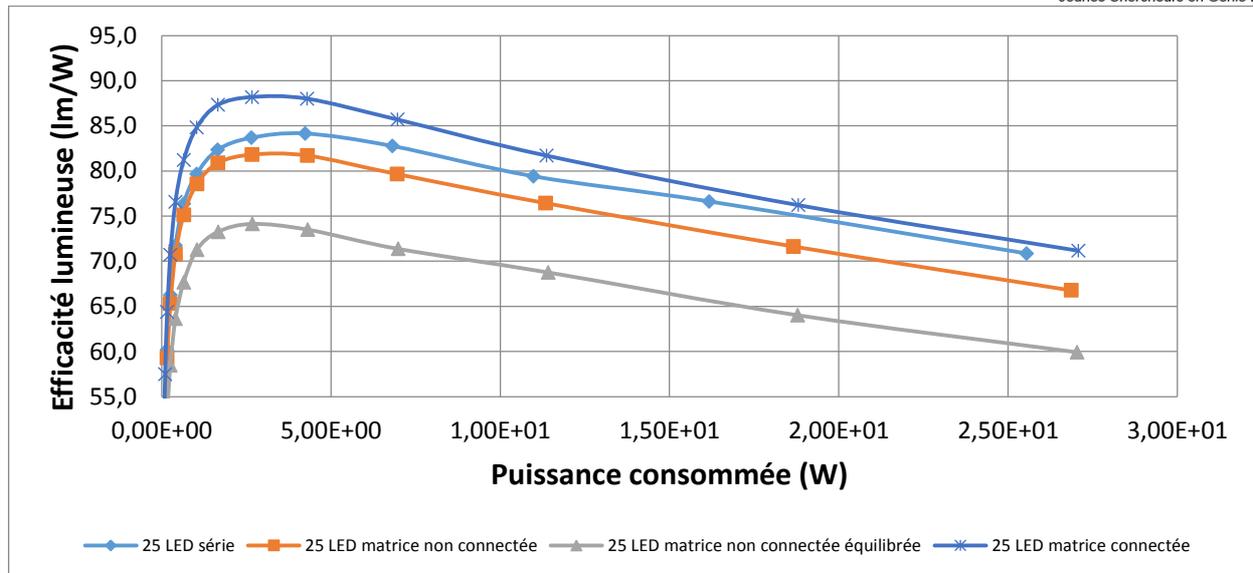


Fig 6: Efficacité = f(puissance) pour chaque topologie

3.2 Dispersion de courant

Une étude concernant la dispersion de courant a également été effectuée pour la topologie matrice connectée. Nous ne présenterons la dispersion que pour une ligne (encadré en rouge sur la Fig 7) et avec un courant injecté par la source entre 50 et 350 mA. Le résultat de cette étude est récapitulé dans le tableau 2.

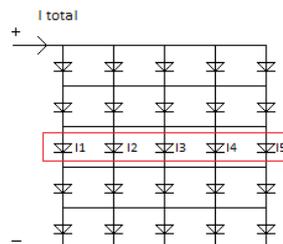


Fig 7 : Schéma mis en œuvre pour l'étude de la dispersion de courant.

Tableau 2 : Etude comparative expérimentale de la dispersion de courant sur une ligne de cinq LED

	Courant injecté par la source (mA)							
	50		100		200		350	
	Courant par LED (mA)	Efficacité par LED (lm/W)	Courant par LED (mA)	Efficacité par LED (lm/W)	Courant par LED (mA)	Efficacité par LED (lm/W)	Courant par LED (mA)	Efficacité par LED (lm/W)
I1	12,8	69	26,2	58	55,6	78	98,5	84
I2	9,2	75	17,5	61	34,4	76	59,3	83
I3	9	73	15,6	54	29,1	64	48,7	68
I4	10,6	57	20,5	71	40,9	57	71,8	62
I5	11,3	60	22,4	78	45,2	63	77,2	66

Le tableau ci-dessus illustre la difficulté d'équilibrer les courants dans une structure de type matrice connectée. En effet, pour un courant constant injecté en entrée, il peut y avoir une différence par rapport au courant moyen théorique dans chaque LED de plus ou moins 30%. Il est aussi possible de voir une différence de rendement lumineux allant jusqu'à 20 lm/W entre les LED.

4. Conclusions

Dans ce papier, nous avons expérimentalement établi que la topologie joue un rôle non négligeable sur le flux lumineux. Les mécanismes basiques dans les luminaires mènent à des problèmes de dispersion de courant qui induisent une inhomogénéité de l'éclairage et jusqu'à un inconfort probable des usagers dans les pièces. Il semble exister un compromis entre d'une part un fort courant parcourant un petit nombre de LED et d'autre part, un faible courant traversant un grand nombre de LED. Aujourd'hui, les luminaires à LED du commerce sont conçus suivant une méthodologie qui mène à une mauvaise efficacité lumineuse associée à des problèmes de gestion thermique. Nous avons montré qu'avec ce type de test simple, sur les LED étudiées, il était possible par une topologie adaptée d'augmenter l'efficacité entre 19 et 25%. Ces premiers travaux sont actuellement couplés au développement d'une modélisation globale incluant les influences réciproques et permettant à terme une conception assistée par ordinateur selon le type de LED.

5. Référence

- [1] Light Sources and Lighting : from Technology to Energy Savings, G.Zissis, Low Emission Power Generation Technologies and Energy Management, pp. 333-374, Editions John Wiley & Sons Inc (Editor JC Chabonnadière), Hoboken, ISBN 978-1-84821-136-0 (2009)
- [2] S.M. Sze Physics of Semiconductor Devices.
- [3] Arik, M., Petroskf, J., & Weavery, S. (2002). THERMAL CHALLENGES IN THE FUTURE GENERATION SOLID STATE LIGHTING APPLICATIONS: LIGHT EMITTING DIODES, 113–120.
- [4] Baur, J., Baumann, F., Peter, M., Engl, K., Zehnder, U., Off, J., ... Hahn, B. (2009). Status of high efficiency and high power ThinGaN®-LED development. *Physica Status Solidi (C)*, 6(S2), S905–S908. doi:10.1002/pssc.200880936
- [5] Biber, C., & Ph, D. (n.d.). LED Light Emission as a Function of Thermal Conditions.
- [6] Diodes électroluminescentes blanches pour l'éclairage, Benjamin Damilano, Julien Brault, A. Dussaigne et Jean Massies, Centre de Recherche sur l'hétéroépitaxie et ses applications (CRHEA), CNRS
- [7] Emitters, I. L., Laubsch, A., Sabathil, M., Baur, J., Peter, M., & Hahn, B. (2010). High-Power and High-Efficiency, 57(1), 79–87.
- [8] Hui, S. Y. (Ron), & Qin, Y. X. (2009). A General Photo-Electro-Thermal Theory for Light Emitting Diode (LED) Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(8), 1967–1976. doi:10.1109/TPEL.2009.2018100
- [9] Hui, S. Y. R., Chen, H., & Tao, X. (2012). An Extended Photoelectrothermal Theory for LED Systems: A Tutorial From Device Characteristic to System Design for General Lighting. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4571–4583. doi:10.1109/TPEL.2012.2188648
- [10] Kim, M.-H., Schubert, M. F., Dai, Q., Kim, J. K., Schubert, E. F., Piprek, J., & Park, Y. (2007). Origin of efficiency droop in GaN-based light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, 91(18), 183507. doi:10.1063/1.2800290
- [11] Zhou, J., & Yan, W. (2007). Experimental investigation on the performance characteristics of white LED used in illumination application. *2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 1436–1440. doi:10.1109/PESC.2007.4342205
- [12] Arik, M., Petroski, J., & Weaver, S. (2002). Thermal challenges in the future generation solid state lighting applications: light emitting diodes. In *ITherm 2002. Eighth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (Cat. No.02CH37258)* (pp. 113–120). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1012446>

- [13] Du Plessis, M., Aharoni, H., & Snyman, L. W. (2002). Spatial and intensity modulation of light emission from a silicon LED matrix. *IEEE Photonics Technology Letters*, 14(6), 768–770. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1003087>
- [14] Evans, D. D. (2008). High brightness matrix LED assembly challenges and solutions. In *2008 58th Electronic Components and Technology Conference* (pp. 1704–1708). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4550209>
- [15] L. Massol - Les LED pour l'éclairage - Fonctionnement et performances, ISBN : 978-2-10-057065-2

ⁱ Nous tenons à remercier M. Lionel Séguier, ingénieur d'étude au LAAS-CNRS de Toulouse, pour son aide à la réalisation du dispositif à LED.