



HAL
open science

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

Laurent Canale

► **To cite this version:**

Laurent Canale. La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications. La Revue de l'électricité et de l'électronique, 2020, 2020 (1), pp.40-46. hal-02518185

HAL Id: hal-02518185

<https://hal.science/hal-02518185>

Submitted on 25 Mar 2020

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.

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

Laurent Canale

Dr.- Ingénieur de Recherche au CNRS

Laboratoire LAPLACE, Équipe Lumière et Matière,
118, Route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 9, France

Introduction

L'éclairage à LED est une révolution technologique aujourd'hui passé dans nos habitudes au même titre que le réfrigérateur ou la télévision même si la vitesse à laquelle elle s'est intégrée, en moins d'une décennie, peut encore surprendre. Pourtant qui aurait pu présager, depuis la découverte de l'électroluminescence en 1907, l'essor de celle-ci ? La Diode Electroluminescente fait partie de ces découvertes improbables, curieuses et inattendues, fruits du hasard, au même titre que l'invention de l'aspirine, de la dynamite ou du Téflon. Mais la gestation de la LED sera longue. Très longue. Plus de cinquante ans pour devenir un produit grand public sous la forme d'un voyant lumineux et il lui faudra traverser le siècle pour devenir une source de lumière à part entière. Une histoire qui commence de façon peu commune, bien loin de la lumière, avec la détection des ondes radios pour les télécommunications...

La TSF : berceau de la LED

En 1902, après de brillantes études au « *Royal College of Science* » de Londres, Joseph Round a tout juste 21 ans lorsqu'il intègre la société Marconi. Il travaille alors sur la transmission sans fil en tant qu'ingénieur et étudie plus particulièrement les propriétés du cristal de Carborundum (carbure de silicium, SiC). Lorsqu'il applique des tensions comprises entre 10 et 100 V, son cristal émet des lumières colorées jaunes-vertes, oranges ou bleues [1]. En 1907, il publie un article sur ses curieuses observations sans toutefois donner les bonnes explications physiques mais son observation fera date : Round prononce ainsi l'acte de naissance de l'électroluminescence le 9 février 1907.

Mais cette observation est sans rapport avec son cœur de métier, les radio télécommunications, et il n'y attachera pas plus d'importance. En témoigne la longueur de sa communication, pour Round et Marconi, il ne s'agit que d'une observation sans intérêt qui ne mérite pas d'être plus développée. Durant sa carrière, Joseph Round ne publiera néanmoins pas moins de 117 brevets et contribuera notablement à l'effort de guerre entre 1939 et 1945 dans la détection sous-marine avec sa participation au comité ASDIC (*Anti-Submarine Detection Investigation Committee*) et le développement du sonar.

A Note on Carborundum.

To the Editors of Electrical World:

SIR:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

New York, N. Y.

H. J. ROUND.



Figure 1 : Premier article sur l'électroluminescence ; en médaillon, Cpt H. J. Round, ingénieur chez Marconi [1].

En 1918, à la sortie de la guerre civile russe, le nouveau gouvernement soviétique ouvre le premier laboratoire scientifique de radio-télécommunications à Nijni-Novgorod. Oleg Vladimirovitch Losev a 17 ans et un diplôme d'étude secondaire quand il intègre en 1920 ce laboratoire en tant que technicien. Il s'intéresse aux détecteurs à cristaux à contact ponctuel (« cat-whiskers ») et fera les mêmes observations que J. Round avec le carborundum sans avoir connaissance de ces précédents travaux. Mais Losev s'intéresse à cette émission de lumière et fabrique un prototype de LED. En 1921, le Prix Nobel est attribué à Albert Einstein pour ses recherches sur l'effet photoélectrique et ceci met en lumière ses travaux. Losev fait le lien avec ses observations et conclut que le principe de physique est identique à la nouvelle théorie quantique d'Einstein. O. Losev pose le premier les bases théoriques du principe de fonctionnement des LEDs. En 1927, il publie sa découverte sur ce processus d'émission qu'il décrit comme "l'effet photo-électrique inverse" [2-4]. Lors de ses travaux, Losev va surtout jeter les bases du fonctionnement des LED très utilisées au 21ème siècle dans un article nommé : « Luminous carborundum detector, detection effect and oscillations with crystals » (« Détecteur de carborundum lumineux, effet de détection et oscillations avec les cristaux »).

Il publiera en tout 43 articles, déposera 16 brevets dont un sur les « relais lumineux » et prophétisera que la lumière servira aux communications du futur... nos télécommunications optiques actuelles.

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

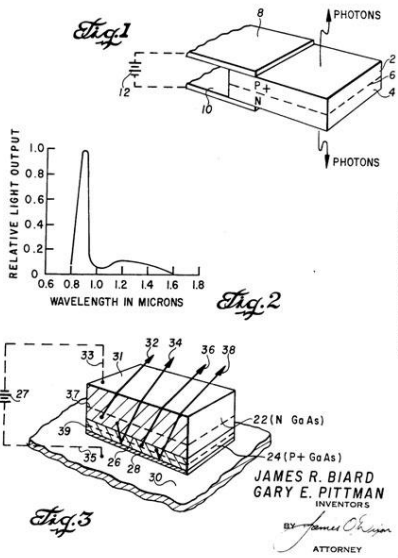


Figure 2 : Premier brevet sur les LED et mesures sur LED, en médaillon, O.V. Losev [2-4]

De 1932 à 1941, Georges Destriau travaille pour le CNRS dans le domaine du magnétisme et de la dosimétrie à rayon X des rayonnements ionisants. En 1935, le physicien français découvre l'émission de lumière dans le sulfure de zinc (ZnS) et invente le mot "électroluminescence" pour désigner le phénomène observé [5]. En l'honneur du physicien russe, il appelle cet effet "Lumière de Lossev (ou Losev)".

Retour aux sources de la lumière et aux radio-télécommunications à travers RCA (Radio Corporation of America, fondé en 1919) qui est, à l'origine, une filiale de General Electric fondée en 1892 par Edison, un des pères de l'ampoule à incandescence. Titulaire d'un doctorat en physique en 1954, Rubin Braunstein intègre RCA l'année suivante et publie ses premiers résultats sur l'émission de lumière par des diodes à semi-conducteurs (à base d'arséniure de gallium (GaAs), antimoniure de gallium (GaSb) ou de phosphure d'indium (InP)) [6]. Ses LEDs sont peu efficaces et émettent un rayonnement dans l'infrarouge. Braunstein découvre que l'énergie émise par ce rayonnement est environ égale à l'énergie de la bande interdite ($h\nu \approx E_g$). En 1958, Rubin Braunstein et Egon Loebner déposent le brevet pour la LED verte en alliage antimoine / germanium [7]. Cependant, comme Round et Losev, Braunstein n'a jamais trouvé d'application industrielle pour sa découverte.

Les travaux de R. Braunstein servirent de base pour Robert Biard et Gary Pittman. En 1959, ces derniers ont été chargés de travailler ensemble au Laboratoire de Recherche et de Développement sur les Semi-conducteurs (SRDL) de Texas Instruments sur la création de diodes Varactor AsGa pour les amplificateurs paramétriques en bande X destinés aux récepteurs radar. Ils font l'acquisition d'une caméra infrarouge japonaise et se rendent compte par hasard que toutes les diodes qu'ils fabriquent depuis des années émettent dans l'infrarouge. Ils déposent leur brevet en 1966 [8, 9].



Robert Biard



Gary Pittman

Figure 3 : A gauche le brevet de la première LED Infra-rouge, à droite, Robert Biard et Gary Pittman, ingénieurs chez Texas Instruments [21].

Sur la base de leurs recherches, Texas Instruments a construit la SNX-100, la première LED disponible dans le commerce. La SNX-100 fonctionnait dans le spectre infrarouge et coûtait 260 dollars.

La LED devient un sujet d'étude...

Mais le passage à une application industrielle ne sera opéré qu'en 1962 par le professeur Nick Holonyak. Il obtient son baccalauréat en 1950, sa maîtrise, l'année suivante, et son doctorat, en 1954, en génie électrique à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. N. Holonyak est le premier doctorant de John Bardeen, qui sera une des rares personnes (avec Marie Curie, Frederick Sanger et Linus Pauling) ayant reçu deux Prix Nobel, l'un pour le transistor, l'autre pour la supraconductivité (une parenthèse qu'il était difficile de ne pas mentionner). Le 1er décembre 1962, Nick Holonyak publie un article sur sa LED dans le *Journal of Applied Physics* avant d'en faire la première LED commerciale [10]. C'est également la première fois où l'émission de lumière devient un vrai sujet d'études indépendant des radio-télécommunications. Cette LED est rouge, peu intense et ne peut être utilisée que pour des applications d'affichage. Une des applications majeures qui fera chuter le coût des LEDs rouges, et qui contribuera fortement à sa démocratisation, est la calculatrice et notamment la TI-30 de Texas Instruments, vendue à plus de 15 millions d'exemplaires.

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

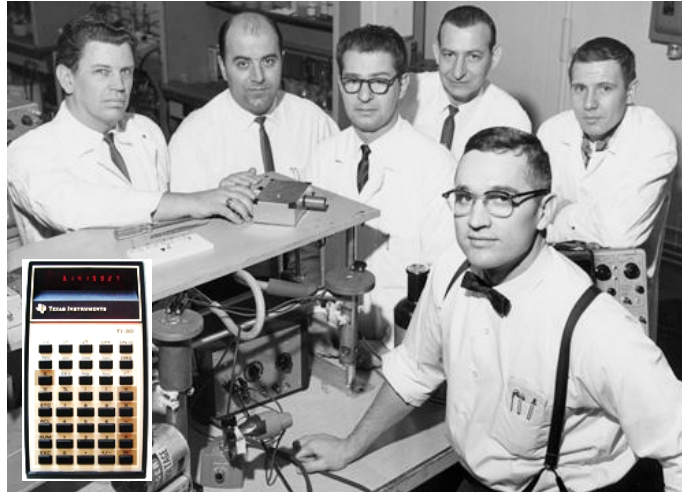


Figure 4 : Devant à droite, Nick Holonyak en 1962 chez General Electric, à gauche, la calculatrice TI-30.

En 1967, M. George Craford, un ancien étudiant de Nick Holonyak, obtient son doctorat en physique et intègre l'entreprise Monsanto où, en 1972, il invente la première LED jaune par un dopage de type n (excès d'électrons) sur un système GaAsP/GaAs. Il améliore également la luminosité des LEDs rouges et LEDs rouges-oranges d'un facteur dix [12].

En 1976, Thomas P. Pearsall crée les premières LEDs à haute luminosité et haute efficacité pour les télécommunications par fibre optique en inventant de nouveaux matériaux semi-conducteurs spécialement adaptés aux longueurs d'ondes de transmission par fibre optique [13].

La LED bleue, une histoire pas si simple... vers l'éclairage moderne.

Une attention particulière portée aux archives historiques révèle une histoire beaucoup plus complexe et intéressante. A la fin des années 60, la LED bleue commence à présenter un certain intérêt économique et les moyens financiers arrivent pour développer... des écrans plats ! (Technologie apparue en 1964 mais qui ne se démocratisera que près de 40 ans plus tard...)

Souvent considéré comme le « père de la LED bleue », Shuji Nakamura n'était pas le seul pionnier dans la technologie du nitrure de gallium.

En effet, dès 1971, Jacques Isaac Pankove publie déjà un article sur une LED bleue [14]! De son vrai nom Jacob Isaac Yevseyevich Pancheshnikov, il est ingénieur, physicien et inventeur américain, né en Ukraine en 1922. La même année, ses parents quittent l'URSS pour s'installer en France, à Marseille après un court séjour d'un an à Constantinople. Son père devient entrepreneur et inventeur mais, de confession juive, ils doivent quitter la France pour les USA en 1942 suite à l'occupation allemande. Titulaire d'un Master en 1948, Jacques I. Pankove travaille pour RCA comme technicien. Grâce à une bourse d'étude de RCA, il intègre un programme de doctorat à l'Université de Paris et soutient sa thèse en 1960 sur « l'émission de rayonnement infrarouge de la surface de l'Allemagne ». Il sera l'un des pionniers de la création des premiers transistors et des LEDs.

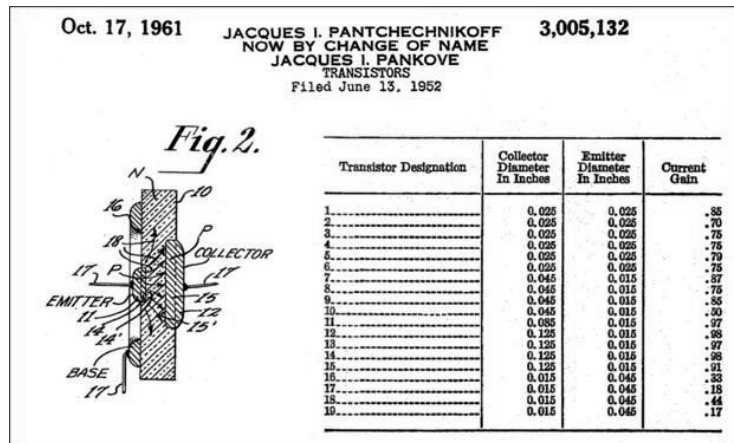


Figure 5 : Brevet de transistor déposé en 1952 par Jacques I. Pankove (en médaillon), en tout, il en déposera 90.

Les principaux travaux scientifiques de J. I. Pankove sont consacrés à la physique des semi-conducteurs. Il a développé le prototype du premier transistor commercial, la première LED sur l'arséniure de gallium dans le domaine infrarouge et le premier laser à injection sur le phosphore d'arséniure de gallium dans le visible. Il a contribué de manière significative au développement précoce de la technologie LED, notamment en 1971 avec la première LED bleue sur nitrure de gallium [14].

Jacques Isaac Pankove n'est qu'une figure emblématique parmi beaucoup d'autres pour ne citer qu'Herbert Maruska, E. A. Miller, D. Richman, J. E. Berkeyheiser avec lesquels il co-signera des articles sur la LED bleue mais aussi Isamu Akasaki et Hiroshi Amano de l'Université de Nagoya qui ont également joué un rôle crucial [15, 16].

Shuji Nakamura est né le 22 mai 1954 à Ehime, au Japon. Il obtient son Master en génie électrique à l'Université de Tokushima en 1979. Il n'a qu'un pont à franchir pour intégrer aussitôt l'entreprise Nichia Chemical Industries qui se situe à moins d'une heure de marche. En 1988, il passe un an à l'Université de Gainesville en Floride aux États-Unis, en qualité d'assistant de recherche invité. En 1989, il commence la recherche sur les LED bleues. Parallèlement, il obtient son diplôme de doctorat de l'Université de Tokushima en 1994 et, entre 1993 et 1995, il développe les premières LEDs bleues/vertes à base de nitrure [17]. Il a également développé les premières diodes laser violettes en 1995. Depuis 2000, il est professeur au département des matériaux de l'Université de Californie à Santa Barbara aux États-Unis, détient plus de 300 brevets et a publié plus de 400 articles.

La principale contribution de Shuji Nakamura à la technologie du nitrure de gallium réside dans la mise au point d'un procédé de fabrication en grande série basé sur des techniques de laboratoire développées par H. Maruska et I. Akasaki.

Le rôle joué par S. Nakamura dans le développement de cristaux de nitrure de gallium et la fabrication de LED bleues et blanches (nitrure de gallium et LED bleues) sont inextricablement liés : les améliorations apportées aux cristaux de nitrure de gallium ont entraîné une augmentation de l'émission de lumière et de l'efficacité [18]. De plus, S. Nakamura a créé presque à lui seul des cristaux de nitrure de gallium et la technologie de la LED bleue chez Nichia Chemical Industries, une entreprise chimique de taille moyenne basée au Japon. Dans son récit, Johnstone mentionne que « Nakamura a dû surmonter toutes les difficultés en innovant dans les cristaux de nitrure de gallium

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

et les LEDs bleues, y compris de nombreux obstacles venant de la direction de son entreprise elle-même [19]. ».



Figure 6 : Remise du Prix Nobel de Physique 2014 à Isamu Akasaki, Hiroshi Amano et Shuji Nakamura à Stockholm

Si, en 2014, I. Akasaki, H. Amano et S. Nakamura ont été honorés du prestigieux Prix Nobel de Physique, ce n'est pas simplement pour la couleur du rayonnement émis par leur LED. Ils ont été récompensés pour avoir inventé la diode électroluminescente bleue (LED) émettant avec une efficacité suffisante pour pouvoir ouvrir la voie aux LEDs blanches et à l'éclairage.



Figure 7. Remise du titre de Docteur Honoris Causa de l'Université de Toulouse à Shuji Nakamura en 2019

Et demain ?...

Aujourd'hui, les records en terme d'efficacité lumineuse au niveau de la puce sont de 303 lm/W (à comparer avec celle d'une lampe à incandescence qui est de l'ordre de 18 lm/W) avec des efficacités « systèmes » (c'est à dire incluant l'électronique) de l'ordre de 130 lm/W. Mais alors que sur le plan théorique une lampe à incandescence ne peut dépasser une efficacité énergétique de près de 20%

(le reste étant perdu sous forme d'infra-rouge), il a été démontré qu'une source de lumière à LED peut atteindre une efficacité de 110% ! Les 10% dépassant (déjà !) la perfection résultant du pompage thermique ambiant... Avec un rayonnement entièrement contenu dans le domaine du visible (pas d'émission infra-rouge ni d'ultra-violet), de ce point de vue, il reste donc encore une belle marge de progression...

Le développement de la technologie des LEDs suit une loi analogue à la loi de Moore -associée au développement de la puissance de calcul informatique- appelée loi de Haitz, du nom de Roland Haitz d'Agilent Technologies, et qui prévoit que les performances des LED doubleront tous les trois ans, pour des prix divisés par 10 tous les dix ans [20].

L'avenir de l'éclairage LED passera sans doute par le laser bleu. Cette technologie, déjà intégrée dans certains phares de voiture (comme certains modèles de véhicule haut-de-gamme), devrait remplacer les LEDs pour devenir la source de lumière de la prochaine génération. En effet, les LEDs classiques présentent une limite physique : en augmentant la puissance d'entrée, les LED deviennent très lumineuses mais avec cette même augmentation de la puissance, les effets thermiques apparaissent et le rendement diminue progressivement alors que celle des LEDs laser peut être augmentée indéfiniment en conservant un rendement élevé. Le potentiel des LEDs laser ne s'arrête pas simplement à l'éclairage mais perce également dans tous les domaines technologiques : de l'affichage au rétroéclairage, des communications par fibre optique aux télécommunications sans fil Li-Fi...

Enfin, Les diodes laser pourraient également renforcer les communications sans fil Li-Fi et accélérer les taux de transmission à 3,5 Gbps ou plus. « La vitesse de modulation de l'éclairage laser est beaucoup plus rapide que celle des LEDs, presque 1000 fois plus rapide, de sorte que la vitesse d'Internet deviendrait beaucoup, beaucoup plus rapide », a projeté S. Nakamura.

L'innovation naîtra également aux confluent des espaces scientifiques. La rencontre de la photonique et des microondes réservent un avenir prometteur dans les télécommunications (5G) ou les véhicules sans chauffeur (technologies radars) ...

Chemins croisés entre éclairage et télécommunications : l'histoire de l'éclairage à LED naît dans le berceau des télécommunications et, avec le Li-Fi, retourne aux télécommunications...

Bibliographie

- [1] Round, Henry J. (9 February 1907). "A note on carborundum". *Electrical World*. 49 (6): 309.
- [2] Losev OV. Optical Relay. Patent No. 12 191, February 2, 1927
- [3] Losev, Oleg, "Детектор – Генератор ; Детектор - Усилитель" (Detector – Generator ; Detector - Amplifier), *Telegrafia i Telefonija bez Provodov*, Vol.14 (1922) pp. 374-386.
- [4] Losev, O. V. (1927). "Luminous carborundum detector and detection with crystals (Wireless Telegraphy and Telephony). 5 (44): 485–494. English version published as Lossev, O. V. (November 1928). "Luminous carborundum detector and detection effect and oscillations with

La LED, chemins croisés entre éclairage et radio télécommunications

- crystals". The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 6:39, 1024-1044, DOI: 10.1080/14786441108564683
- [5] Georges Destriau, « Recherches sur les scintillations des sulfures de zinc aux rayons », Journal de Chimie Physique, v. 33 (1936), 587-625.
- [6] Braunstein R. Radiative transitions in semiconductors. Physical Review. 1955, 99(6):1892-1893. DOI: 10.1103/PhysRev.99.1892
- [7] Braunstein R., Loebner EE. Semiconductor device for generating modulated radiation. RCA Corp, assignee, U.S. Patent 3102201. Issued : Aug. 27th, 1963
- [8] Biard JR, Bonin EL, Carr WN, Pittman GE. GaAs infrared source. International Electron Devices Meeting, Washington, D.C. Oct. 1962, Vol. 8, pp 96.
- [9] Biard JR, Pittman GE. Semiconductor radiant diode. U.S. Patent 3293513. Issued: Dec 20th, 1966
- [10] Holonyak, Nick, Jr. ; Bevacqua, S. F. Applied Physics Letters, Volume 1, Issue 4, p.82-83 (1962)
- [11] Holonyak Nick; Bevacqua, S. F. (December 1962). "Coherent (Visible) Light Emission from Ga(As_{1-x}P_x) Junctions". Applied Physics Letters. 1 (4): 82. rdoi:10.1063/1.1753706.
- [12] Craford M.G., Shaw R.W., Herzog A.H., and Groves W.O. « Radiative recombination mechanisms in GaAsP diodes with and without nitrogen doping » J. Appl.Phys. 43, 4075 (1972)
- [13] Pearsall, T. P.; Miller, B. I.; Capik, R. J.; Bachmann, K. J. (1976). "Efficient, Lattice-matched, Double Heterostructure LEDs at 1.1 μm from GaIn_{1-x}As_yP_{1-y} by Liquid-phase Epitaxy". Appl. Phys. Lett. 28 (9): 499. doi:10.1063/1.88831
- [14] J.I. Pankove, E.A. Miller, J.E. Berkeyheiser, « GaN blue light-emitting diodes” , Journal of Luminescence, Volume 5, Issue 1, 1972, Pages 84-86, ISSN 0022-2313, [https://doi.org/10.1016/0022-2313\(72\)90038-5](https://doi.org/10.1016/0022-2313(72)90038-5).
- [15] Maruska H.P., Rhines W.C., Stevenson D.A. « Preparation of Mg-doped GaN diodes exhibiting violet electroluminescence » Mat. Res. Bull. 7, 777 (1972)
- [16] Light emitting semiconductor device using nitrogen-Group III compound ; Patent number: 5905276, assigned: Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Toyoda Gosei Co., Ltd. ; Inventors: Katsuhide Manabe, Masahiro Kotaki, Hisaki Kato, Michinari Sassa, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano ; Filed: November 6, 1997 ; Date of Patent: May 18, 1999.
- [17] Nakamura S., Senoh M., and Mukai T. « P-GaN/n-GaN double-heterostructure blue-light-emitting diodes » Jpn. J. Appl. Phys. 32, L8 (1993a)
- [18] The Logics of Materials Innovation: The Case of Gallium Nitride and Blue Light Emitting Diodes, Christophe Lécuyer and Takahiro Ueyama, Historical Studies in the Natural Sciences, Vol. 43, No. 3 (Jun., 2013), pp. 243-280, Published by: University of California Press, DOI: 10.1525/hsns.2013.43.3.243
- [19] Bob Johnstone, Brilliant! Shuji Nakamura and the Revolution of Solid State Lighting (Amherst, MA: Prometheus Books, 2007).
- [20] « Haitz's law », Nature Photonics, vol. 1, no 1, 2007, p. 23 DOI: 10.1038/nphoton.2006.78

L'auteur



Laurent Canale, Ingénieur de Recherche au CNRS, laboratoire LAPLACE, équipe Lumière et Matière, Docteur en Électronique des Hautes Fréquences et Optoélectronique, Président de l'Association Française de l'Éclairage Midi-Pyrénées et Secrétaire de l'«Industrial Light & Display Committee» (IEEE). Ses

recherches portent sur les LEDs/OLEDs. Directeur de 2 thèses soutenues en 2017 et 2 autres directions en cours. Il collabore également à plusieurs programmes européens. En 2019, il obtient un financement pour son programme *MELINA*, Mastering Efficient Lighting In North Africa.

Summary

It is natural to think that the evolution of technologies is the fruit of work in the scientific field in which researchers are interested. Who would think that intimate links exist between these two universes as distant as the history of lighting and that of radio-telecommunications? If the acronym "LED" is today a synonym of "light bulb", above all it remains a diode from teledetection research. First "Infra-Red", then "red", today its white light integrates our daily life and extends our days. A century ago, Joseph Round was officially declaring his birth certificate in the world of light, after Oleg Losev will understand it and make it a subject of study in his own right, and then, Georges Destriau will name its light: "electroluminescence". A surprising story for this light source that revolutionizes our daily lives today and which had nevertheless remained for decades an ignored and discredited child, even an irrelevant subject, hidden in the shadow of radio telecommunications ...

Résumé

Il est naturel de penser que l'évolution des technologies soit le fruit du travail dans le domaine scientifique auquel on porte intérêt. Qui pourrait penser que des liens intimes existent entre ces deux univers aussi éloignés que l'histoire de l'éclairage et celle des radio-télécommunications ? Si l'acronyme « LED » est aujourd'hui synonyme d'« ampoule », elle reste avant tout une diode issue de la recherche en télédétection. D'abord « Infra-Rouge », puis « rouge », sa lumière blanche intègre aujourd'hui notre quotidien et prolonge nos journées. Il y a près d'un siècle, Joseph Round déclarait officiellement son acte de naissance dans le monde de la lumière, ensuite, Oleg Losev le comprendra et en fera un sujet d'étude à part entière et enfin Georges Destriau donnera un nom à sa lumière : « électroluminescence ». Une surprenante histoire pour cette source de lumière qui révolutionne aujourd'hui notre quotidien et qui était pourtant restée durant des décennies un enfant ignoré et déconsidéré, voire un sujet sans intérêt, caché dans l'ombre des radio-télécommunications...