

Les lampes à décharge d'arc

Ce domaine de recherche concerne des applications directes sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, sur l'environnement, sur le développement durable et sur la qualité de vie. Pour accomplir des avancements importants dans ce domaine, la recherche fondamentale est absolument nécessaire.

L'éclairage électrique a profondément bouleversé notre vie quotidienne. Il serait aujourd'hui inimaginable de s'en passer, du moins dans les pays développés, et son utilisation ne fait que croître. On estime à environ 30 milliards le nombre de lampes électriques en service sur la planète, tandis que 10 milliards de nouvelles lampes sont produites chaque année.

Les chiffres en termes d'énergie ne sont pas moins impressionnants. La consommation mondiale en éclairage dépasse les 2 000 TWh d'énergie électrique par an, soit approximativement le dixième de la production globale d'électricité. Dans un pays industrialisé, on utilise en moyenne 10 à 15 % de la production électrique annuelle pour l'éclairage (12 % en France, plus de 19 % aux USA). Dans un pays en voie de développement, où l'éclairage est un besoin prioritaire, cette proportion est beaucoup plus importante (37 % pour la Tunisie et 89 % pour la Tanzanie). La France a consommé, en 1999, 41 TWh pour l'éclairage, environ 60 % de cette énergie est utilisée par le secteur non résidentiel. L'éclairage public et routier consomme 10 % du total tandis que les 30 % restants sont absorbés par l'éclairage domestique. Il faut toutefois noter que ce dernier secteur a vu sa consommation tripler en vingt ans (5 TWh en 1979 pour 14 TWh en 1999).

Le développement et la fabrication de lampes à décharge d'arc sont utilisées pour diverses applications industrielles tels que :

- pompe à lasers (usinage des matériaux, recherche fondamentale et appliquée, chirurgie, ...),
- photographie moyenne et forte puissance,
- médecine (stérilisation UV-flash, dermatologie, ophtalmologie, ...),
- simulation solaire,
- feux anti-collision pour l'aéronautique (obstacles naturels ou aériens), balisage des pistes d'aéroport,
- stroboscopie (feux à éclats de sécurité (signalisation de dangers), effets lumineux divers).

D'un point de vue économique et industriel, le marché correspondant est énorme, en voici quelques exemples:

| Applications | Volume (%) | Chiffre d'affaires (%) |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| Laser | 19.7 | 52 |
| Photographie | 37.1 | 26 |
| Stroboscopie | 37.8 | 9 |
| Médecine | 3.8 | 9 |

| | | |
|---------------------------------|-------------|----------|
| Feux pour l'aéronautique | 1.5 | 3 |
| Simulation solaire | 0.15 | 1 |

En même temps, l'éclairage est responsable de certaines nuisances sur l'environnement (pollution visuelle nocturne ou dégagement de gaz à effet de serre lors de la production de l'énergie électrique correspondante). Ces problèmes vont probablement s'aggraver puisque, selon les prévisions de l'OCDE, les besoins en éclairage au niveau mondial seront multipliés par trois dans les dix années à venir... Les lampes contiennent des matériaux rares et souvent toxiques (Hg, Cd, terres rares), radioactifs (Th) et enfin leurs ballasts contiennent du plomb. Ainsi, à la fin de la vie de la lampe, ces matériaux peuvent se déverser dans la nature. Par exemple, la plupart des lampes, à l'exception des ampoules à incandescence, contiennent du mercure. C'est ainsi, qu'aux USA pour produire chaque année quelques 750 millions de nouveaux tubes fluorescents on utilise 2,5 tonnes de mercure et dans d'autres pays comme la France, on collecte par an approximativement 80 tonnes des déchets contaminés au mercure. La nouvelle réglementation européenne, entrée en vigueur le 1er Janvier 1998, impose que les lampes à décharge en fin de vie soient ramenées à des déchets "ultimes" devant être retraités avant stockage dans des décharges spéciales (classe A) ; le stockage dans une décharge de ce type coûte approximativement 200 Euros par tonne.

En outre, depuis quelques années, avec le développement de la technologie, les lampes sont de plus en plus alimentées par des ballasts électroniques sophistiqués qui fonctionnent à fréquence élevée. Des lampes sans électrodes alimentées en hautes fréquences, radiofréquences ou même en micro-ondes, ont également fait leur apparition sur le marché. Ces techniques ont contribué à l'amélioration du rendement et de la durée de vie des lampes, à la diminution du poids et de l'encombrement des luminaires tout en offrant la possibilité d'une gestion centralisée de l'éclairage. Une des difficultés encore mal résolues est que ces systèmes engendrent des perturbations électromagnétiques qui peuvent se propager soit par le réseau électrique soit par rayonnement et interférer avec d'autres systèmes électriques ou électroniques.

Le premier de ces défis consiste en l'augmentation de l'efficacité lumineuse de la source. L'augmentation de cette efficacité, ne fût-ce que de quelques %, constituerait un progrès important. Des estimations diverses indiquent que, compte tenu de l'augmentation de la demande de l'humanité pour l'éclairage, en utilisant simplement de façon plus raisonnée les sources existantes, nous pourrions économiser entre 10 et 15 % de l'énergie consommée pour l'éclairage dans les 10 années à venir. Il faut aussi rappeler que l'augmentation de l'efficacité entraînerait une diminution de la pollution de l'environnement liée du fait de la diminution de la production d'énergie nécessaire à l'éclairage.

Actuellement, malgré tous les progrès de la science et de la technologie dans le domaine des lampes, l'efficacité maximale de ces systèmes stagne, depuis les années 70, autour de 100-110 lm/W. Compte-tenu des propriétés de l'œil humain, il est cependant possible de créer l'impression d'une lumière blanche à partir de l'émission de lumière dans deux (jaune, bleu) ou mieux, dans trois bandes spectrales

seulement. Une bonne solution consiste à utiliser du bleu, du vert et du rouge. Dans ce contexte, l'efficacité lumineuse d'une lampe qui n'émettrait que ces trois raies avec une intensité correspondante à celle du corps noir à 3 000 K peut se calculer facilement : cette efficacité maximale est égale à 300 lm/W. Cette valeur est pratiquement trois fois supérieure à la meilleure efficacité que l'on sait réaliser aujourd'hui. Il nous semble donc réaliste d'affirmer qu'il serait possible d'atteindre des efficacités lumineuses de l'ordre de 200 lm/W au moins en sacrifiant encore une puissance notable dans la conversion.

Augmenter la durée de vie de la lampe, améliorer son rendu de couleur, miniaturiser la source et le système, supprimer le mercure et autres éléments toxiques sans perte d'efficacité, obtenir une mise en régime instantané..., voilà des objectifs intéressants pour le futur.

La réalisation de ces objectifs ne sera pas atteinte en se basant uniquement sur la physique de la seule lampe, isolée de son environnement et de son application. L'enjeu consistera surtout à comprendre et à modéliser de façon détaillée un "système" complexe afin de pouvoir l'optimiser en fonction de son application. Voici un tableau résumant les diverses applications des lampes à décharge d'arc :

| | Court | Moyen | Long |
|---------------------------|---|--|--|
| Lasers | Usinage | Fusion par confinement inertiel, usinage, nettoyage de surface | Fusion par confinement inertiel, usinage, nettoyage de surface |
| Photographie | studios professionnels "classiques" | studios professionnels, thermographie | thermographie, photo avec plan net sur la profondeur de champ |
| médical | dermatologie | dermatologie, stérilisation, esthétique | stérilisation, esthétique |
| simulation solaire | comportement des matériaux avec le temps | comportement des matériaux, biologie, photochimie | biologie, photochimie |
| aéronautique | feux anti-collisions, balisage des pistes d'aéroport | balisage de pistes d'aéroport | balisage de pistes d'aéroport |
| stroboscopie | feux de sécurité, effets lumineux, imprimerie, polymérisation rapide | effets lumineux, polymérisation, études de crashes, cavitation, caméras rapides | effets lumineux, polymérisation, études de crashes, cavitation, caméras rapides |

➔ Les articles de référence du domaine :

- Verweij, W. Philips Res. Rep. Sup., 2, 1, 1961.
- Waymouth, J., Invited Talk, 5th Symp. On Sc. And Techn. of Light Sources, York, 1989.
- Wharmby, D.O., IEE Proc. A, 140, 485, 1993.
- J.P Marckiewicz, J.L Emmett, Design of Flashlamps Driving Circuits, IEEE J.QE-2,11,707 (1966),
- J.H Goncz, Resistivity in Xenon Plasma, J. Appl. Phys, 36, 742 (1965)
- M.J Kushner, Arc expansion in xenon flashlamps, J. Appl. phys, 57, 7, 2486 (1985)
- D.E Perlman, Characteristics and Operation of Xenon Filled Linear Flashlamps, Review of Scientific Instruments, Vol 37, 3, 340 (1966)
- J.F Holzrichter, J.L Emmett, Design and analysis of a high brightness axial flashlamp, Applied Optics, 8, 7, 1459 (1969)
- Y. Vitel, M. Skowronek, Influence d'un courant de prédécharge (simmer) sur l'évolution d'un plasma créé dans un tube à éclairs, Revue Phys. Appl., 22, 193 (1987)

➔ On peut également se référer à des ouvrages :

- The high pressure mercury vapor discharge, Elenbaas, W., North Holland Pub., Amsterdam, 1951
- [Lamps and Lighting](#), Cayless, M.A., A.M. Marsden, Edward Arnold Pub., London, 1983.
- [Electric Discharge Lamps](#), Waymouth, J., The M.I.T. press, Cambridge, 1971.
- Les tubes à éclairs, M. Skowronek, Ed. Masson (Physique fondamentale et appliquée) 1992.
- [Solid-State Laser Engineering](#), W. Koechner (Ch.6 : Optical Pump Sources), Ed. Springer Verlag
- [Techniques d'utilisation des photons, Principes et applications](#) (Ch.3.2 Lampes à éclats et lampes à arc), Electra, Ed. Dopée 85, 1992.
- Flashlamp Pumped Laser Technology, Proceeding SPIE 609, 1986.

➔ Les revues scientifiques où la recherche dans ce domaine est publiée :

- [Applied Optics](#)
- [Journal of Applied Physics](#)
- [Applied Physics Letters](#)
- [Journal of Physics D: Applied Physics](#)
- [IEEE Transactions on Plasma Science](#)
- [Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer](#)
- [IEEE Transactions on Industry Applications \(Ballasts pour lampes\)](#)
- [IEEE Transactions on Power Electronics \(Ballasts pour lampes\)](#)

➔ Les conférences nationales et internationales pour ce thème de recherche :

- [International Symposium on the Science and Technology of Light Sources](#), (tous les 3 ans),
- [IEEE International Conference on Plasma Science \(ICOPS\)](#), Topic Plasma Light Sources, (annuelle),
- [IEEE Industry Application Society, Production and Application of Light Committee](#), (annuelle),
- [International Conference on Phenomena in Ionized Gases \(ICPIG\)](#), (tous les 2 ans),
- [International Conference on gas Discharges and their Applications](#), (tous les 2 ans).

➔ Les laboratoires et les entreprises en France et à l'étranger qui travaillent dans ce domaine :

Les laboratoires

- [Centre de Physique des Plasmas et de leurs Applications de Toulouse \(CPAT, UMR 5002\)](#)
- [Laboratoire des Plasmas Denses](#) - Paris
- [Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas \(LPGP, UMR 8578\)](#) - Orsay
- [Ecole Supérieure d'Electricité](#) - Gif sur Yvette
- [Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés \(GREMI, UMR 6606\)](#) - Orléans.
- Fédération de Recherche (FR CNRS 2488), Nantes.
- [Centre de Recherche Méthodologique d'Architecture \(CERMA, UMR 1563\)](#), Ecole d'Architecture de Nantes.
- [Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik](#) INP, Greifswald, Allemagne.
- [Lichttechnisches Institut](#) LTI, Karlsruhe, Allemagne.
- [Technische Universität Darmstadt](#), Allemagne.
- [University of Granada](#), Espagne.
- [University of Oviedo](#), Espagne.
- [Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg](#), Allemagne.
- [University of Latvia](#), Riga, Lettonie.
- [University of Vilnius](#), Lituanie.
- [University of Patras](#), Grèce.
- [University of Crete](#), Grèce.
- [University of Madeira](#), Portugal.
- [University of Roma - La Sapienza](#), Italie.
- [Technical University of Liberec](#), Tchéquie.
- [Catholic University of Leuven](#), Belgique.
- [Technische Universiteit Eindhoven](#), Pays-bas.
- [University of Lund](#), Suède.
- [University of Minnesota](#), USA.
- [University of Paderborn](#), Allemagne.
- [L-LAB](#), Allemagne.

- [University Politechnica of Bucarest](#), Roumanie.
- IPEIM - Monastir, Tunisie.
- [University of Toronto](#), Canada.
- [VDI](#) - Allemagne.
- [ADEME](#) - France.
- [Euromet](#) - USA.
- [CIE](#) - Autriche.
- IRAD - France.

Les entreprises

- [Flashlamps Verre & Quartz](#) - Bondy.
- [Philips](#) - Pays-Bas.
- [Osram](#) - Allemagne.
- [General Electric](#) - USA.
- [Schneider Electric](#) - France.
- [Tridonic](#) - Autriche.
- [Plansee](#) - Autriche.
- [Luxmate](#) - Autriche.
- [Zumtobell](#) - Autriche.
- [Thorn Europhane](#) - France.
- [Schott Glass](#) - Allemagne.
- [Matsushita](#) - Japon.
- [USHIO](#) - Japon.
- [Trojan UV Max](#) - Canada.
- [Hella GmbH](#) - Allemagne.
- [AUPEM-SEFLI](#) - France.
- Synapse - France.
- Neon Products - Allemagne.
- [Ornalux](#) - Espagne.
- [Lumex Ltd](#) - Russie.
- Innotech - Russie.
- Vortex Inc. - Canada.

Pour plus d'informations, contacts etc... s'adresser à [G. Zissis](#) ou regarder les sites web : [COST-529](#), [Efficient Lighting Initiative](#), [European GreenLight programme](#) et [US lighting research office](#).