



LAMPE AU SOUFRE A BULBE SEPARÉ SULPHUR LAMP WITH REMOTE BULB

Rapport annuel 2009

Auteur et coauteurs	Dr. Gilles COURRET, Dr. Mirko CROCI
Institution mandatée	Communauté de recherche AIT-CeTT et HEIG-VD
Adresse	Av. des sports 20, 1400 Yverdon-les-Bains
Téléphone, e-mail, site Internet	024 55 775 91, gilles.courret@heig-vd.ch, http://www.cett.ch/fr/institut_mnt.php
N°projet / n°contrat OFEN	103152 / 154144
Responsable OFEN du projet	Dr. Charles Filleux
Durée prévue du projet (de - à)	(01.05.2009 - 31.10.2010)
Date	09.12.2009

RÉSUMÉ

Les trois premières étapes du projet ont été réalisées :

1. Tests de câbles coaxiaux.
2. Développement d'un système accordable de couplage capacitif du bulbe (par antenne quart-d'onde) avec mise sous vide de l'extrémité de l'antenne.
3. Accordage du couplage du bulbe pour l'amorçage de la décharge.

Etape 1: Trois types de câbles ont été testés

- a) Ecoflex 15 de SSB-Electronic. 4 longueurs ont été testées (apprêtés par le partenaire Solaronix).
- b) Cellflex 7/8" de Nexans SA
- c) Cellflex 1-5/8" de Nexans SA

Ces câbles Cellflex sont plus gros mais ont des atténuations plus faibles que celle de l'Ecoflex 15.

Etape 2: Le montage de la terminaison comporte un connecteur coulissant qui permet d'allonger la cavité coaxiale tout en réduisant la longueur de l'antenne de couplage du bulbe. Cet organe comporte un sabot poussé par vis micrométrique. Le pied du bulbe est muni d'un bouchon afin de pouvoir faire le vide autour de l'antenne. Après deux prototypes infructueux, le troisième a donné satisfaction : la pression descend sous le centième de Pascal en une dizaine d'heure. A ce vide, la tension disruptive serait supérieure au mégavolt, d'après notre évaluation, ce qui devrait empêcher la décharge de passer sur l'antenne.

Etape 3: L'opération d'accordage est basée sur le spectre de réflexion vu depuis le magnétron, que l'on mesure avec un analyseur de réseau. L'appareil est branché à une antenne quart-d'onde qui est plongée dans la cavité à la place de celle du magnétron. A certaines conditions de réglage, de profonds pics d'absorption apparaissent, ce qui fournit la fréquence de résonance de la cavité. Pour les 4 câbles de la rubrique a), tous les écarts à la fréquence d'émission du magnétron (2,45 GHz) devraient être suffisamment petits. Pour les 2 autres câbles, l'écart est sensiblement plus important : l'essai pourra nous dire si l'accordage est suffisant. Nous avons besoin pour cela du modulateur à semi-conducteur (étapes n°5 et 6 du projet).

Buts du projet

La lampe au soufre offre une efficacité lumineuse très élevée (de 80 Lm/W à 600 W, à 115 Lm/W à 1400 W). Nous avons réussi à supprimer la rotation du bulbe en modifiant l'alimentation de la lampe. Grâce à cette innovation brevetée, il est maintenant envisageable de monter le bulbe au bout d'un câble RF, et ainsi de profiter de la petitesse de la source lumineuse (30 fois plus dense que les LEDs). Ce montage permet aussi de séparer le bulbe du principal dégagement de chaleur, qui a lieu dans le ballast. Donc en plaçant le ballast en faux-plafond, nous réduisons la charge de climatisation, ce qui démultiplie les économies d'énergies réalisées en employant cette lampe.

Les buts qui avaient été fixés pour l'année sont les **étapes 1 2 et 4**. La fin de l'**étape 3** était prévue pour le début 2010. Nous avons pris un peu d'avance sur cette dernière puisqu'elle est maintenant réalisée (*Rapport intermédiaire Ip1* [1]). Par contre l'étape 4 ne sera achevée qu'au premier trimestre 2010 : développement d'un modulateur à semi-conducteur.

Travaux effectués et résultats acquis

Le système à mettre en résonance, que l'on appelle « cavité », est constitué d'un ensemble de deux oscillateurs couplés, la cavité rectangulaire et la cavité coaxiale (voir Fig. 1). Cette dernière est composée du câble coaxial et de la partie de la terminaison qui va jusqu'au plan masse de l'antenne de couplage du bulbe (voir Fig. 2). La terminaison est munie d'une grille afin d'éviter l'émission de micro-ondes dans l'environnement.

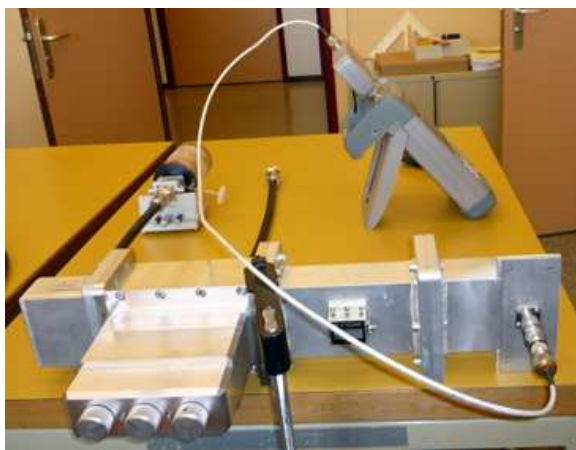


FIG. 1 A. G. : LE GUIDE D'ONDES CREUX (R26) MUNI DES FLUXMETRES ET DES PLONGEURS. A D. : COUPLEUR R26 <-> COAXIAL 7-16"

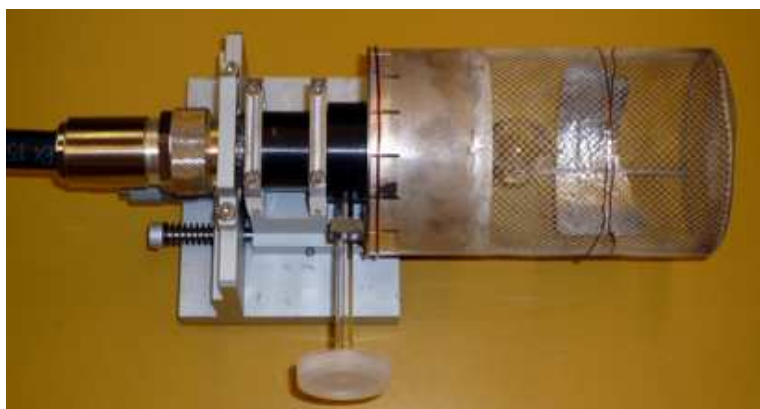


FIG. 2 A. G. : LA TERMINAISON (GRILLE REPARÉE). A. D. : TERMINAISON OUVERTE. LE BOUCHON DE MISE SOUS VIDE DE L'EXTREMITÉ DE L'ANTENNE EST VISIBLE EN BLANC.

L'accordage électromagnétique de la cavité vise à ce qu'elle entre en résonance à la mise en marche du magnétron, afin d'obtenir un claquage dans le bulbe (amorçage de la décharge). Le montage de la terminaison comporte un connecteur coulissant qui permet d'allonger la cavité coaxiale et qui simultanément réduit d'autant la longueur de l'antenne de couplage du bulbe. Cet organe, qui est fabriqué sur-mesure, comporte un sabot poussé par vis micrométrique, ce qui donne la stabilité requise pour que les mesures électromagnétiques soient reproductibles.

L'opération d'accordage est basée sur le spectre de réflexion vu depuis le magnétron. Avec un analyseur de réseau, on mesure la variation du carré du module du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. L'analyseur est branché à une antenne de mesure qui est plongée dans la cavité rectangulaire à la place de celle du magnétron (voir Fig. 3).

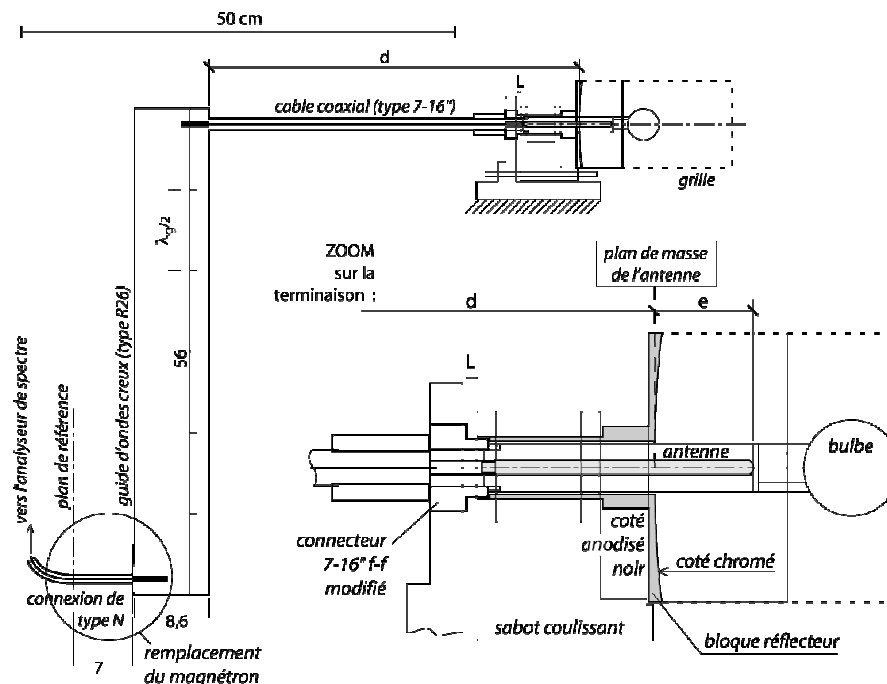


FIG. 3 BRANCHEMENTS ET PARAMETRES GEOMETRIQUES D'ACCORDAGE

En devisant doucement le connecteur du branchement sur l'antenne de mesure, on peut juxtaposer le plan de référence (terminaison du câble de liaison) à un plan de court-circuit. A cette condition, de profonds pics d'absorption apparaissent. On augmente la résolution du balayage pour zoomer sur le pic le plus proche de 2,45 GHz. C'est celui qui nous intéresse : sa fréquence est appelé fréquence de résonance de la cavité. Nous avons testé divers câbles coaxiaux, dont les longueurs ont été calculées afin que la cavité soit accordée au magnétron :

TABEAU 1 RESULTATS ACQUIS : ECART ENTRE LA FREQUENCE DE RESONANCE ET CELLE DU MAGNETRON

	Câble	Longueur cm	Ecart MHz
1	Ecolflex 15	189,0	+12
2		145,2	-13
3		050,3	+3
4		035,6	-10
5	Cellflex 7/8"	035,1	-54
6	Cellflex 1-5/8"	033,8	-56

Grâce au sabot coulissant on peut modifier la longueur de la cavité coaxiale (amplitude du mouvement : 5 mm). La mesure montre que la fréquence de résonance ne varie alors pratiquement pas. Nous avons expliqué ce résultat en montrant que l'effet de l'allongement est compensé par la diminution de la capacité de bout de ligne, car en effet, le mécanisme raccourci l'antenne de la terminaison.

Cette invariance de la fréquence de résonance nous est favorable puisque nous pourrions ainsi régler la longueur de l'antenne sans désaccorder la cavité. Ce paramètre conditionne en effet la puissance micro-onde à injecter pour obtenir l'amorçage de la décharge, comme nous avons pu l'observer avec un prototype sans câble RF mais dans lequel le bulbe est aussi couplé par une antenne [2].

Collaboration nationale

Cette activité de recherche donne lieu à une Start-Up issue de la HEIG-VD. L'initiateur de ce projet, L. Calame, a reçu la bourse HEIG-VD Start-Up 2009. L'objectif premier est de lancer en 2010 la com-

mercialisation d'une lampe au soufre de 1,5 kW sur le marché des spots de spectacle (niche à forte valeur ajoutée). Des fabricants de spots ont déjà signalé leurs intérêts. A moyen terme, le bulbe sera statique et la gamme offerte sera élargie à l'éclairage des bâtiments, dans le secteur des luminaires de moyenne puissance (200 à 1000 W). C'est à ce stade que seront valorisés les résultats du présent projet. Pour des raisons de coûts de production, de rendement et de fiabilité, la conception de l'alimentation doit être repensée, aucunes de ces contraintes n'ayant été prises en compte jusqu'à présent. Le partenaire Solaronix SA parraine la Start-Up susmentionnée. Un nouveau partenariat a été initié avec l'unité de Cortaillod du groupe Nexans, leader mondial dans la fabrication des câbles de transport d'énergie électrique.

Une action de communication des résultats vers l'économie à été réalisée au salon GreenTech 2009 au Forum de Fribourg, octobre 2009. Une lampe au soufre fonctionnelle y était exposée.

Collaboration internationale

Des contacts avec des partenaires Européens ont été pris au Swedish-Swiss Innovation and Clean Tech Forum, 2009, Stockholm, Suède [3] en vu d'entrer dans les Programmes-cadres de l'UE (le projet visé est du type Eurostar).

Évaluation de l'année 2009 et perspectives pour 2010

Pour les câbles des numéros 1 à 4, les écarts devraient être suffisamment petits pour que le magnétron puisse s'adapter à la cavité. L'analyse de la lampe Solar-1000 par la même technique a en effet fait apparaître que les fluctuations de la fréquence de résonance restent dans une amplitude de ± 10 MHz lorsque l'on perturbe ce type de résonateur.

Pour les câbles des numéros 5 et 6, l'écart est sensiblement plus important : l'essai pourra nous dire si l'accordage est suffisant. Nous avons besoin pour cela du modulateur (étapes n°5 et 6 du projet). En outre, nos calculs montrent que l'affinage de l'accordage peut être obtenu en raccourcissant les câbles de 9 mm. Par ailleurs, le facteur de qualité de la cavité nous fournit sa constante de temps. Il est nécessaire que celle-ci soit inférieure à la durée des pulses pour que la modulation contribue à l'allumage de la décharge. Nous avons pris en compte cela dans le cahier des charges du modulateur à semi-conducteur.

Proposition a été faite d'un travail de Bachelor à la HEIG-VD en partenariat avec l'unité de Cortaillod du groupe Nexans sur la fabrication et le test d'un câble de type guide d'onde (sans conducteur central) qui serait développé spécifiquement pour la lampe soufre à bulbe séparé.

Références

[1] G. Courret, **Lampe au soufre à bulbe séparé, Rapport intermédiaire I.1**, Références OFEN : N° du projet : 103152 ; N° du contrat : 154144, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Yverdon, 2009

[2] L. Calame, **Démarrage du bulbe antenne**, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Yverdon-les-bains, 2007

[3] G. Courret, M. Croci, A. Meyer, **Clean Light Source of High Efficiency, 2nd Generation Sulphur Lamp**, Swedish-Swiss Innovation and Clean Tech Forum, Stockholm, Swede, October 2009