الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry Of Higher Education and Scientific Research

Frères Mentouri Constantine 1 University
Faculty of Technology Sciences
Electronics department

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم التكنولوجيا
قسم الإلكترونيك

Order N°: .....
Serial N°: .....

PhD Thesis

Presented to obtain the diploma of
Doctorate 3rd Cycle LMD

Option: Biomedical Engineering
Specialty: Processes and devices for the biomedical

Presented By
Houssem Eddine BOUSBA

THEME

Realization and optimization of an atmospheric pressure plasma source for biomedical application

Dissertation Date: 12/07/2022

In front of the Jury members:

Chairman	**Azzedine Bellel**	**Prof.**	**Frères Mentouri University**
Advisor	**Salah Sahli**	**Prof.**	**Frères Mentouri University**
Examiners	**Zehira Ziari**	**Prof.**	**Frères Mentouri University**
	Douniazed Mezdour	**Prof.**	**Mohamed Seddik Ben Yahia University of Jijel**
	Karim Mansour	**Prof.**	**Salah Boubnider University**
Invited	**Mouna Saoudi**	**Dr.**	**Frères Mentouri University**

Throughout the curriculum of my PhD studies, I have received a great deal of support and assistance for which I am indebted and would like to acknowledge.

This thesis and the majority of the related works have taken place in the Laboratory of Microsystems and Instrumentation (LMI), Electronic department, Faculty of Technology Sciences, Frères Mentouri Constantine 1 University in Constantine - Algeria directed by Professor **Salah Sahli**. You have been sir, an ideal teacher, mentor, and thesis supervisor, offering advice, guidance and encouragement with a perfect blend of insight and humor. I'm proud of, and grateful for my time working with you.

I gratefully recognize the collaboration and help of Doctor **Mouna Saoudi**. It is because of your invaluable assistance and insights this thesis found the link between saying and doing I also would like to thank all the members of the Laboratory of molecular and cellular biology, Faculty of Nature and Life Sciences, Frères Mentouri Constantine 1 University, Constantine – Algeria.

My sincere thanks go especially to the members of the dissertation jury for accepting to examine and evaluate our work. Your insightful feedback brought my work to a higher level:

My thanks, gratitude and respect for the president of the jury, Professor **Azzedine Bellel** for the guidance and advice based on his wide experience.

I recognize the enlightenment, information and guidelines received from Professor **Zehira Ziari** not only during my PhD studies, but also along my whole educational curriculum.

The thankfulness is passed to Professor **Douniazed Mezdour** for the time energy and effort she shared with us to evaluate and increase the quality of our work.

My full appreciations and esteem for Professor **Karim Mansour** for the constructive judgments, advising and suggestions that lead to more valuable thesis.

I would also like to thank my tutors for their valuable guidance throughout my studies all the opportunities I was given to further my research: Prof. **Azzedine Telia**, Prof. **Mouloud Kihel**, Dr. **Merzoug Ammari** and Mr. **Smail Mouissat**. You provided me with the tools that I needed to choose the right direction and successfully complete my dissertation.

I could not have completed this thesis without the support of my colleagues through the whole campus of Ahmad Hammani (Zerzara) at Frères Mentouri Constantine 1 university. Dr. **Lyes Benterrouche**, Dr, **Mohamed Tahar Bebnabbas**, Dr. **Fouzi Bouanaka**, Dr. **Omar Lezzar**, Dr. **Boubaker Essedik Belkerk,** Dr. **Salah Boulmelh,** Dr. **Djalal Sekhane** and Mr. **Daoudi Djamel**.

A special thanks to the ones I consider friends, colleagues and even family: Dr. **Abderrezak Boughada**, Mr. **Dallah Khalid**, Mr. **Mohamed Sofiane Bendilmi**, Mr. **Wail Seif Eddine Namous**, Mr. **Redha Soudous**, Mr. **Fares Debabi**, Ms. **Fella Esma Teniou**, Dr. **Boutheina Bendahmane**, Ms. **Labiod Siham**, Dr. **Nesrine Amiour**, Ms. **Amira Boudjaadar** and Ms. **Chems Elghizlene Lechkheb**, I want to thank you for your patient support and the fruitful times we spend together.

In addition, I would like to deliver special thanks to Mr. **Billel Bousba** and Ms. **Amel Hioual** for their precious help at the manuscript tie-up and completion.
At the end, I extend my thanks to my friends from outside the university **Mohmamed**, **Mustapha**, **Djamel**, **Selmane**, **Lamine, Anes** and **Abdelouahab** for their time, advice and moral support.

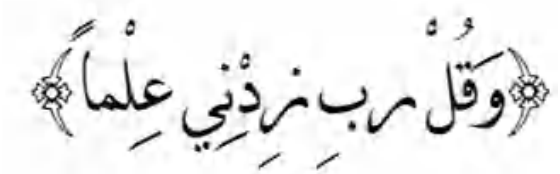
For the sake of Allah, the almighty god.

For My mother my first and everlasting love, without her encouragement and endless love I would never have been able to complete any achievement.

For my father, my first teacher and my forever tutor, the one who made me as capable as I am; the one who set the right example for me to follow.

For my beloved brothers and sister, who have always helped me and believed in me.

For all my family and friends.


﴿وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا﴾

[سورة طه، آية: 114]

Table of content

Thèse: Réalisation et optimisation d'une source plasma à pression atmosphérique pour applications en biomédicale

Option: **Génie Biomédicale**
Spécialité : **Procédés et dispositifs pour le biomédicale**
Doctorant : **Bousba Houssem Eddine**
Directeur de thèse : **Sahli Salah**

Cette thèse représente une étude et recherche dans le domaine biomédical, d'où un appareil qui permet la création d'un jet de plasma froid à pression atmosphérique a était fabriqué; ensuite, implémenté pour le but de décontamination de l'eau pollué biologiquement avec des espèces bactériennes et fongiques. Cette source de plasma est constituée de deux parties :

- Un générateur de haute tension : qui permet de délivrer un signale alternative avec des amplitudes assez importantes pour atteindre l'excitation requis pour le claquage de gaz utilisé pour générer le jet de plasma.
- Un réacteur plasma cylindrique équipé des électrodes concentriques séparées avec un diélectrique en quartz. Ce réacteur permet la création d'un jet de plasma sous différents types des gazes.

Le but pratique de cette thèse est d'effectuer des traitements de décontamination sur les milieux liquides dans une manière pratique est sure, pour cela nous avons optimisé la source de plasma pour générer le jet à la sortie d'un tube en plastique, long et flexible.

Pour déterminer les paramètres optimaux qui permettent la génération d'un jet de plasma laminaire et stable, plusieurs caractérisations électriques, physiques et optiques on était effectués. Et aussi, des études sur les grandeurs influençant le traitement par plasma et les espèces réactifs générés par la décharge telle que la tension appliquée et les paramètres géométriques du système de transport du jet plasma.

Les résultats obtenus des expériences de la décontamination d'eau ont démontrés que lorsque le jet plasma est allumé en utilisant une combinaison contrôlée des gazes (argon et oxygène ou argon et le protoxyde d'azote) et immergé dans le volume du liquide délivre des espèces réactifs avec un potentiel antimicrobien. Ces espèces entre en réaction avec les cellules des microorganismes polluant l'eau et résultent à la purification des échantillons contaminés. Les études présentés dans cette thèse ont permet de définir les paramètres optimales pour une décontamination efficace d'eau pollué biologiquement.

Mots Clés : Plasma jet, Haute tension, Pollution biologique, Potentiel antimicrobien, espèces réactifs, décontamination d'eau.

Thesis: Realization and optimization of an atmospheric pressure plasma source for biomedical applications

Option: **Biomedical Engineering**
Specialty: **Processes and devices for the biomedical**
Post graduate student: **Houssem Eddine Bousba**
Supervisor: **Salah Sahli**

This thesis represents a biomedical study and research, where we designed and fabricated a device for the generation of cold atmospheric pressure plasma jet, In addition to implementing this device for the cleansing of water samples that are biologically contaminated using bacterial and fungal strains. This device is mainly constituted of two (2) parts:

- High voltage generator: it is an electronic circuit that delivers an AC voltage with amplitude that is high enough to easily achieve the excitation required for the gas breakdown and plasma ignition.
- A cylindrical shaped plasma reactor with concentric electrodes separated with quartz as dielectric. This reactor when attached to the high voltage generator allows the creation of plasma jets under different working gases.

As the practical aim of this thesis is to perform decontamination treatments on aqueous solutions in an efficient and safe manner, we optimized and adapted the plasma device for liquids treatment using a particular setup that allows the regeneration of the plasma jet at the exit of a long flexible plastic tube.

In order to determine the optimum parameters that allow the generation of the plasma je in a smooth and stable discharge, we performed first several electrical, physical and electrical characterizations on the plasma jet. In addition to studies about the effect of influencing agents such as the applied voltage and the geometrical parameters of the plasma transportation system on the efficiency of the plasma based treatment and the reactive species generated in the discharge.

Results of the experiments performed for the purpose of water decontamination showed that igniting the plasma jet in a controlled gas mixture of argon and oxygen or argon and nitrous oxide lead to the generation of reactive species with antimicrobial potential. When the plasma jet is submerged underwater, these species are delivered in the volume and interact with the bacterial cells leading to their death and inactivation. This study allowed us to define the optimum parameters for proficient water decontamination from biological pollutants.

Keywords: Plasma jet, High voltage, biological pollution, antimicrobial potential, reactive species, water decontamination.

عنوان الأطروحة: إنجاز وتحسين جهاز توليد البلازمة تحت الضغط الجوي من أجل تطبيقات في المجال البيوطبي

المجال: هندسة بيوطبية
التخصص: عمليات وتجهيزات بيوطبية
طالب الدكتوراه: بوصبع حسام الدين
الأستاذ المشرف: ساحلي صالح

هذه الأطروحة عبارة عن بحث علمي في مجال الهندسة البيوطبية، حيث قمنا بتصميم وإنجاز جهاز توليد منفث للبلازما الباردة تحت الضغط الجوي المحيط واستعماله في تطهير عدة عينات لمياه ملوثة بيولوجيا بأنواع من البكتيريا والفطريات. يتكون الجهاز المجز من قسمين:

- مولد للجهد الكهربائي عالي الشدة: يقوم بتوليد تيار متناوب تحت توتر عالي بشكل كافي يسمح بالوصول لما يسمى بتوتر الإنهيار الخاص بالغاز المستعمل، والذي يكفل تحويله إلى تفريغ بلازمي.
- مفاعل للبلازما أسطواني الشكل ذو قطبين كهربائيين مركزيين مفصولان بحاجز عازل من الكوارتز. يسمح هذا المفاعل عند ربطه بالمولد المذكور سابقا بتوليد منفث للبلازما بالستعمال عدة انواع من الغازات.

بما أن الهدف التطبيقي لهذه الأطروحة هو القيام بتجارب على الأوساط السائلة والمائية بطريقة عملية وآمنة، فقد تم ضبط الجهاز خصيصا لهذا الغرض، وذلك عبر توصيل خاص يسمح بإعادة إنشاء المنفث البلازمي في نهاية أنبوب طويل من البلاستيك المرن بعيدا عن المصدر الأولي.

من اجل تعيين وضبط الاعدادات المثالية لتوليد منفث البلازما بشكل سلس ومستقر، قمنا بإجراء مجموعة من القياسات الكهربائية والفيزيائية والبصرية على هذا التفريغ البلازمي، كما تمت دراسة تأثير كل من شدة الجهد الكهربائي المطبق على المفاعل ونوع الغاز المستعمل، وكذا دراسة مدى تأثير الخصائص الفيزيائية لنظام توصيل المنفث البلازمي على مدى استقرار وفعالية هذا الأخير بالإضافة إلى تحديد العناصر الكميائية الفعالة في المعالجة والتي ينتجها الجهاز بمساعدة المنفث البلازمي.

أظهرت نتائج التجارب التي قمنا بها في إطار تطهير المياه أن المنفث البلازمي الموقد باستخدام خليط متحكم فيه من غاز اللآرغون والأكسجين أو غاز اللآرغون وأكسيد النيتروجين الثنائي عند غطسه في وسط عينات المياه الملوثة بالبكتيريا أن العناصر الكميائية الفعالة قد تم انحلالها في الماء وتفاعلها مع الخلايا البكتيرية مما يؤدي إلى قتلها وجعل المياه نقية من الحياة الميكروبيولوجية. كما سمحت الدراسات والتجارب بتحديد الإعدادات الكهربائية والهندسية المثالية من أجل الحصول على الفعالية القصوى في مايخص القدرة التعقيمية للبلازما.

الكلمات المفتاحية :منفث البلازما، جهد كهربائي، تلوث بيولوجي، قدرة تعقيمية، العناصر الكميائية الفعالة، تنقية المياه.