

Caractérisations et optimisation de plasmas pour des applications biologiques

Philippe GUILLOT
*Laboratoire Diagnostics des Plasmas
Hors Equilibre (DPHE)
INU Champollion
Albi, France
philippe.guillot@univ-jfc.fr*

Résumé — L'institut National Universitaire Champollion est une université pluridisciplinaire française, membre de l'Université de Toulouse. Le laboratoire Diagnostics des Plasmas Hors Equilibre est un laboratoire expérimental dans le domaine de la physique des plasmas. Les recherches concernent notamment la caractérisation de procédés centré sur un plasma pour des applications biologiques. Dans cette présentation des exemples de résultats dans le domaine de la décontamination biologique d'objet et de liquide sont présentés.

Mot-clés — physique, biologie, plasma, décontamination

I. INTRODUCTION

L'Institut National Universitaire Champollion (INU Champollion) est un établissement « pluridisciplinaire hors santé » selon la classification du ministère, qui a été créé à compter du 1er décembre 2015 en tant qu'Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel (EPSCP) après avoir été pendant 13 ans un établissement public administratif (EPA, de 2002 à 2015). Cet établissement est un des membres fondateurs de l'Université de Toulouse.

Etablissement jeune, l'INU Champollion s'est imposé en quelques années comme un acteur reconnu de l'enseignement supérieur et de la recherche, notamment pour ses résultats en formation. Son modèle attractif conjuguant ancrage territorial et ouverture au monde est construit sur des valeurs fortes : la pluridisciplinarité des formations de la licence au master, la culture de la réussite et de l'innovation en matière de pédagogie, la production et la diffusion de savoirs au travers de la recherche. Sur ses trois campus d'Albi, Castres et Rodez, l'INU Champollion offre à ses 4 000 étudiants un cadre d'études privilégié au sein de la Région Occitanie.

Établissement pluridisciplinaire, l'INU Champollion délivre plus d'une trentaine de diplômes répartis dans 6 domaines d'étude : Arts, Lettres et Langues / Droit, Economie, Gestion / Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives / Sciences Humaines et Sociales / Sciences et Technologie / Informatique pour la santé, ce dernier au sein d'une école d'ingénieurs.

Le laboratoire DPHE fait partie du département Science et Technologie. Les travaux de recherche sont expérimentaux et concernent la physique des plasmas, en particulier la caractérisation et l'optimisation de procédés par plasmas pour des applications données. Des exemples de procédés et de résultats seront notamment présentés en lien avec la décontamination biologique sans produit chimique. L'objectif est ici de mettre en avant en priorité le potentiel collaboratif du laboratoire en plasma-biologie mais aussi plus largement celui de l'INU Champollion.

II. LABORATOIRE DPHE

Le laboratoire DPHE est une plus ancien de l'établissement, il a été créé en 2007 et se déploie sur 400 m². Il comprend aujourd'hui 7 permanents : 5 enseignants-chercheurs, 2 professeurs et 3 maîtres de conférences, et 2 ingénieurs de recherche, un spécialiste des plasmas et une biologiste. En moyenne 4 doctorants effectuent des recherches dans le laboratoire.

Nous avons pour mission la conception, la réalisation, l'étude et l'optimisation de sources plasmas à partir de diagnostics expérimentaux électriques, optiques, physiques et spectrométriques. Un plasma émet en particulier des rayonnements et nous étudions leurs propriétés. Pour les émissions du plasma, les caractérisations optiques sont réalisées pour spectrométrie à partir d'un spectromètre Princeton SpectraPro HRS-750 et pour les variations spatio-temporelles à partir d'une caméra Princeton Instruments PIMAX3:1024i. Pour l'ionisation, les spectres de masse sont obtenus à partir d'un spectromètre de masse à temps de vol API-TOF-MS TOFWERK.

Optimiser les performances d'un procédé plasma est un verrou scientifique et technologique qui nous permet de pérenniser nos activités de recherche tout en renforçant nos connaissances sur les plasmas et en développant des compétences transversales. Les disciplines concernées sont notamment la biologie et la chimie, les domaines d'applications sont la santé et l'environnement.

Dans le cadre de cette présentation, nous nous concentrons sur la décontamination biologique par plasma généré à basse pression ou à pression atmosphérique. En effet le laboratoire dispose d'un espace de microbiologie de classe 2 qui nous permet d'envisager des contaminations volontaires dans le respect des règles d'hygiène et de sécurité et une évaluation de l'efficacité biocide ou fongicide des procédés par plasma au sein même du laboratoire.

III. PROCÉDES A BASSE PRESSION

Ce type de plasma nécessite une enceinte dans laquelle le vide doit être fait par l'intermédiaire d'une pompe avant d'injecter à l'intérieur de cette même enceinte un gaz rare ou un mélange de gaz rares, à une pression donnée.

Les travaux présentés sont extraits de travaux doctoraux liés à la caractérisation et à l'optimisation d'une source plasma pour le traitement biologique dans le domaine agroalimentaire. Ces travaux concernent le traitement des épices pour la thèse de A. Kais (2015-2018) et des semences pour celle de M. Soulier (2017-2020).

Le réacteur est représenté sur la figure 1 en présence d'un plasma à l'intérieur. Dans ces travaux, le plasma est

créé dans un mélange hélium-oxygène, dans de l'air synthétique ou dans un mélange argon-oxygène, à une pression comprise en 10 et 100 Pascal. Le plasma est généré par une source micro-onde coaxiale (MW) qui fonctionne à une fréquence de 2.45 GHz avec une puissance maximale de 200W. Dans cette configuration, le plasma est enfermé dans le réacteur et les éléments à traiter doivent être positionnés préalablement à l'intérieur du réacteur avant de produire le plasma.



Fig. 1. Plasma dans un réacteur basse pression (volume 40 litres)

Dans une première étude, des grains de poivre ont été volontairement contaminés par des bactéries *E. coli* et positionnés au centre du réacteur pour évaluer l'effet biocide du plasma. Les résultats de décroissance sont présentés sur la figure 2.

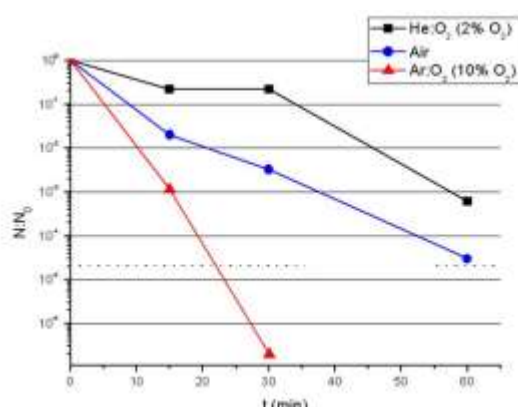


Fig. 2. Décroissance de la charge bactérienne en fonction du temps (*E. coli*, graines de poivre)

La décroissance la plus rapide est observée pour un plasma généré dans un mélange argon-oxygène. En 20 minutes une décroissance de 4 log est observable ce qui correspond à une réduction de 99.99% des microorganismes présents au départ. En complément nous avons vérifié que les propriétés organoleptiques du poivre étaient conservées (piperine).

Dans une seconde étude, des grains de blé positionnés au centre du réacteur ont été traités pour évaluer le potentiel fongicide du plasma sur la flore native. Dans ce cas, une seconde source de plasma (RF) peut également être rajoutée dans le réacteur de façon à évaluer l'effet d'une source plasma supplémentaire sur le traitement. Les résultats de décroissance sont présentés sur la figure 3. Il s'agit d'un plasma d'air. L'exposition des moisissures à un vide de 1 Pa pendant 90 minutes n'a aucune incidence sur la quantité de moisissures présentes dans les graines.

L'exposition des moisissures au plasma MW permet d'atteindre 1-log de réduction fongique dans les grains

après 90 minutes. En présence des 2 sources MW et RF, la décroissance logarithmique de la survie des moisissures suit celle du plasma MW pendant 45 minutes. A partir de là, l'inactivation des moisissures est accélérée en présence de la source RF, menant à une réduction fongique de 1,5-log en 90 minutes.

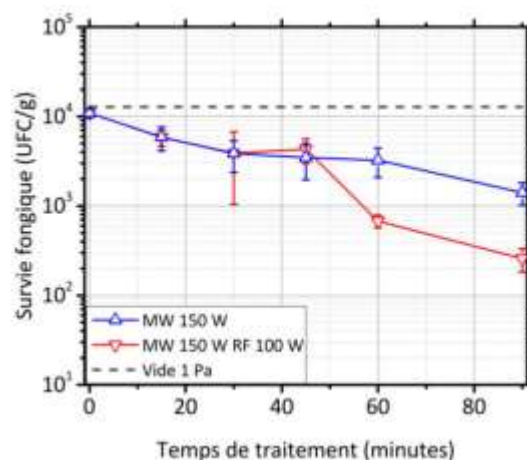


Fig. 3. Décroissance en fonction du temps (flore native, grains de blé)

En complément, nous avons évalué les effets du plasma sur la panification (conservation du taux d'humidité de la farine et teneur en gluten permettant d'assurer la qualité du pain) et sur le taux de germination de ces grains de blé.

IV. PROCÉDES A PRESSION ATMOSPHERIQUE

Ce type de plasma nécessite un dispositif dans lequel un gaz rare ou un mélange de gaz rares transite à un flux donné. Le dispositif est représenté sur la figure 4 en présence d'un plasma à l'intérieur. Il fait partie de la famille des décharges à barrières diélectriques. En effet un élément non conducteur, ici du verre, sépare les électrodes du plasma. Ce dispositif a été conçu au laboratoire. Ici, le plasma est réalisé dans un mélange hélium-oxygène avec un flux d'hélium de 2 litre/min. Le plasma est généré par un générateur qui délivre un signal impulsionnel à une fréquence de 20 kHz avec une tension maximale de 6000 V. Dans cette configuration, un jet de plasma sort du dispositif et peut interagir avec des surfaces à décontaminer.

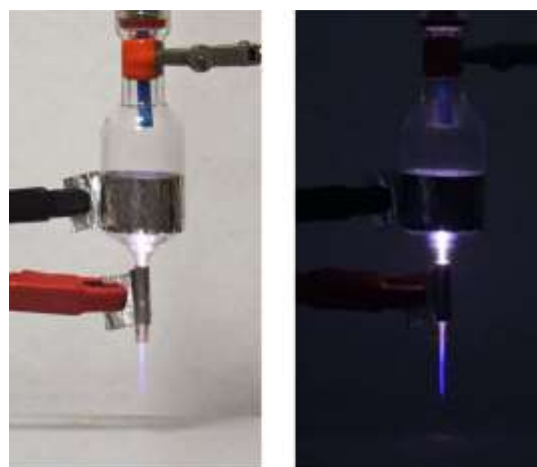


Fig. 4. Plasma à pression atmosphérique (longueur du dispositif 5 cm)

Les travaux présentés sont extraits de travaux doctoraux liés à la caractérisation et l'optimisation d'une source

plasma pour la décontamination biologique de surfaces et de liquides. Ces travaux concernent le traitement de surfaces pour la thèse de A. Koné (2014-2017) et des liquides pour les thèses de L. Invernizzi (2016-2019) et I. Courti (2019-2023).

Dans une première étude, des spores *B. atrophaeus* ont été volontairement inoculés sur des plaques de cuivre et les échantillons contaminés ont été placés au contact du jet de plasma pour évaluer son effet biocide. Les résultats de décroissance sont observables sur la figure 5. Ils sont présentés pour plusieurs distance entre la sortie du dispositif et la cible en cuivre.

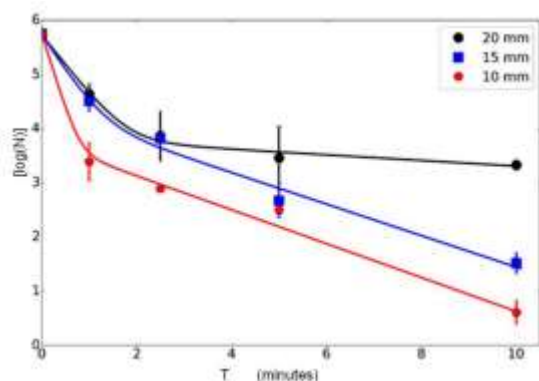


Fig. 5. Décroissance en fonction du temps (*B. atrophaeus*, cuivre)

La décroissance la plus forte est observée pour la distance la plus faible. En effet la présence d'une cible conductrice augmente l'intensité du plasma au contact de la surface en se rapprochant.

Dans une seconde étude, *B. subtilis* est utilisé pour inoculer une solution saline (0.9% NaCl). La surface du liquide se trouve à 6 mm de la sortie du dispositif. Le jet de plasma est en contact avec la surface du liquide. Après le traitement, la décroissance a été évaluée à l'aide de 3 méthodes différentes (Kit commercial, culture sur gélose tryptone soja TSA, culture sur gélose tryptone soja TSA complétée avec du NaCl). Les résultats sont présentés sur la figure 6. Au bout de 4 minutes de traitement, une décroissance de 4 log est observée, soit une réduction de 99.99% des microorganismes.

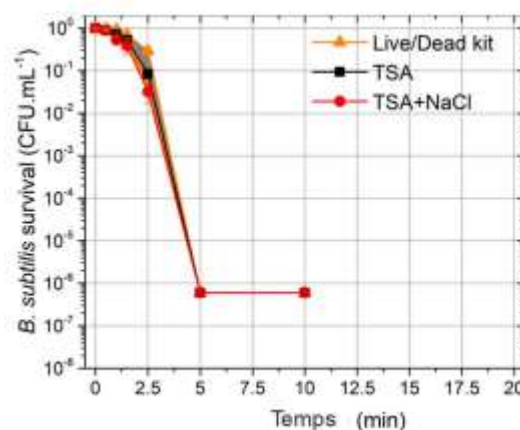


Fig. 6. Décroissance en fonction du temps (*B. subtilis*, liquide)

V.CONCLUSION

Le laboratoire DPHE de l'INU Champollion effectue des recherches expérimentales dans le domaine des plasmas, notamment dans le domaine de la décontamination biologique sans produit chimique. Comme la majorité des laboratoires de physique des plasmas, les recherches effectuées intègrent des outils de diagnostics électrique, optique et de masse. Nous montrerons donc les spectres d'émissions des différents plasmas présentés à basse pression et à pression atmosphérique, ainsi que des distributions spatio-temporelles 2D obtenues par caméra rapide. Mais ce laboratoire de physique des plasmas possède un espace spécifique dédié à la microbiologie qui peut être une source potentielle de collaborations. C'est la raison pour laquelle un focus a été fait dans cette synthèse sur des exemples de décontamination (biocide, fongicide) autour de procédés à basse pression et à pression atmosphérique.

REMERCIEMENTS

L'ensemble des doctorants cités est à remercier pour leurs contributions et les résultats présentés dans ce document ainsi que la Région Occitanie et l'INU Champollion à l'origine du financement des différentes thèses.