



International Journal of Natural Resources and Environment

Journal home page: <https://ijnre.univ-adrar.dz>
ISSN 2710-8724



I
J
N
R
E

Mesure de l'impact de l'eau hydrogénée H₂ sur la germination des graines de Luzerne (*Medicago sativa* L.)

Olivier Louis Henri Salieres^{1,*}, Stéphane Améziane Dumortier Oussedik²

¹Président du laboratoire ENERLAB 06100 Nice, France

²Président de LEAU LAVIE, 93230 Romainville, France

* Corresponding author: os@enerlab.net (O.L.H. Salieres)

Article etails: Received: 22 June 2023, Revised: 04 July 2023, Accepted: 06 July 2023

Résumé:

Depuis qu'elle a été signalée dans la publication historique [Nature Medicine en 2007](#) comme un puissant agent antioxydant, de nouvelles preuves ont démontré que l'hydrogène moléculaire H₂ est une option thérapeutique prometteuse pour un grand nombre de pathologies sévères et modérées et que les mécanismes complets sous-jacents vont au-delà du piégeage des radicaux hydroxyles purs.

En plus des applications médicales, des publications scientifiques récentes ont montré que l'eau hydrogénée H₂ agit également sur la croissance et le développement des plantes, la fertilisation sur les sols en influençant les micro-organismes rhizosphériques et la durée de conservation des fruits et légumes, entraînant des améliorations du rendement et de la qualité des cultures.

Notre étude porte sur l'action de H₂ sur la germination des graines germées de Luzerne (*Medicago sativa*). Dans cette étude, des analyses ont été menées sur des graines de Luzerne arrosées avec de l'eau hydrogénée et non hydrogénée, mettant en évidence le rôle et les mécanismes sous-jacents de H₂ dans l'amélioration de la germination.

De nombreuses études démontrent que la germination de graines, le développement des plantes, la qualité des aliments pouvaient être quantifiées et qualifiées par des techniques innovantes, telles que l'analyse de photons ultra ténus UPE (Ultraweak Photon Emission) via des outils de mesures scientifiques de dernières générations comme les luminomètres ou caméra CCD (Charge Coupled Device) équipé de PMT (tube photomultiplicateur). L'UPE est une émission spontanée de lumière d'intensité ultra faible émanant de tous les systèmes vivants. A ce jour, plus de 1500 publications scientifiques ont été réalisées dans des revues à comité de lecture concernant les fonctions de l'UPE.

Nous avons montré dans cette étude que l'application d'eau hydrogénée H₂ dosée à 1100-1300 ppb pendant 8 jours a un impact important sur la quantité de photons UPE émis et la croissance des graines germées de Luzerne (*Medicago sativa*).

Nous avons relevé que les valeurs de photons UPE dans les graines germées avaient augmentées après 6 jours de germination de 3429.97% via un arrosage avec de l'eau osmosée hydrogénée H₂ par rapport à des graines arrosées avec de l'eau du réseau. Nous avons constaté que l'application d'eau osmosée hydrogénée H₂ pendant 8 jours augmentait la longueur des racines de 162.5% par rapport à un arrosage avec de l'eau de réseau.

Des différences de poids significatives ont été trouvées entre les graines arrosées avec de l'eau du réseau et de l'eau osmosée hydrogénée. Le poids des graines germées arrosées avec de l'eau osmosée hydrogénée est de 182.12% plus importante que celles arrosées avec l'eau du réseau.

Mots clés : Photons UPE, Hydrogène H₂, Luminomètre, Eau Hydrogénée

1. Introduction

L'hydrogène (H_2) est l'élément le plus petit et le plus abondant dans l'univers, on la retrouve dans toutes les étoiles comme le Soleil qui tire son énergie de la transformation de l'hydrogène en hélium au cours d'une réaction thermonucléaire. Elle est présente sur Terre en grande quantité, combiné à d'autres éléments. Elle peut être extraite de ces éléments pour obtenir ce gaz aux multiples applications. H_2 peut être administré aux plantes, ou aux tissus végétaux, soit sous forme de gaz, soit intégrée dans un milieu approprié, généralement l'eau et peut être ainsi ajouté directement dans les sols (ou à la solution nutritive comme par exemple des fertilisants) ou pulvérisé sur le feuillage (Hasegawa et al., 2017 ; Zhao et al., 2021 ; Li et al., 2021a ; Russell et al., 2020 ; Li et al., 2021b ; Prasad et al., 2014 ; Mello Gallep, 2014).

A titre d'exemple Wu et al. (1989) ont utilisé cette approche pour examiner les effets de H_2 sur le stress dans le chou dû au Cadmium (Cd). Les résultats suggèrent que l'amélioration de la tolérance au Cd par H_2 était associée à une absorption réduite de Cadmium et à une augmentation des capacités de défense antioxydante. Par conséquent, l'application de H_2 peut être une stratégie prometteuse pour améliorer la tolérance au Cd du chou chinois.

Dans Xu et al. (2013), l'eau riche en hydrogène H_2 atténue le stress salin du riz pendant la germination des graines. Dans Chen et al. (2014) l'eau riche en hydrogène H_2 atténue l'inhibition induite par l'aluminium de l'élongation des racines dans la luzerne en diminuant la production d'oxyde nitrique. Dans Zeng et al. (2013), Il a été suggéré qu'un tel soulagement du stress par H_2 pourrait impliquer la signalisation des phytohormones.

Sécurité et utilisation de H_2 :

Dans leur étude, Sun et al. (2015) donnent trois raisons pour lesquelles ils considèrent que le H_2 est sans danger pour l'homme et, par conséquent, par extension, il est sans danger pour les traitements des plantes, qui sont utilisées pour les cultures vivrières.

- En premier lieu, H_2 a été utilisé comme gaz comprimé pour la plongée sous-marine pendant des décennies, sans qu'aucun effet nocif ne soit signalé.
- Deuxièmement, H_2 est un gaz endogène, étant produit dans l'intestin dans les différents règnes animaux et humains (Hylemon et al., 2018). Chez les mammifères, l'hydrogène endogène est produit lors de la fermentation des glucides non digestibles par les bactéries intestinales ; il est absorbé dans la circulation systémique et est ensuite retrouvé dans l'air exhalé.
- Troisièmement et à ce jour, aucune preuve clinique n'a été trouvée que l'hydrogène puisse être nocif pour le corps humain. Les données publiées par l'UE et le gouvernement américain sur la biosécurité de l'hydrogène ont montré que l'hydrogène n'a pas de toxicité aiguë ou chronique sur le corps humain sous une pression normale.

Signalons cependant qu' H_2 est hautement inflammable, il faut donc faire preuve de prudence s'il est utilisé dans des endroits confinés, comme par exemple dans une serre agricole.

Les mécanismes d'action d' H_2 et la manière dont il agit sur les plantes n'est pas entièrement compris. S'il est pulvérisé sur le feuillage, on ne sait pas quelle quantité de H_2 pénètre dans les tissus végétaux, mais les résultats et effets visuels sont indéniables.

Les effets directs de H_2 sont également difficiles à comprendre, c'est-à-dire : quelles sont les cibles moléculaires de H_2 ? H_2 est probablement trop petit pour interagir avec un récepteur protéique de la manière classique. Cependant, il existe des rapports où H_2 agit comme un antioxydant (Ohsawa et al., 2007), la cible la plus probable étant le *radical hydroxyle*, ou la molécule de *peroxynitrite* ($ONOO^-$). Ce dernier est formé par une réaction d'oxyde nitrique (NO) et d'anions superoxyde. On pense qu'il est moins probable qu' H_2 réagisse avec d'autres espèces réactives de l'oxygène (ROS), telles que l'anion superoxyde ou le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), ou d'autres espèces réactives de l'azote, telles que NO. Il est également

peu probable qu' H_2 soit impliqué dans la modification directe des acides aminés dans les polypeptides, ce qui serait le mécanisme typique d' $H_2 O_2$ (par *oxydation* (Winterbourn, 2013)) ou de NO par *S-nitrosylation* (Hess et Stamler 2012). D'autres études ont suggéré que H_2 agit sur des enzymes, telles que l'hème oxygénase (Shen et al., 2017), mais l'interaction directe n'est pas connue.

Effets d' H_2 sur les plantes

Ici, dans cette étude, Nguyen et al. (2022) demandent si H_2 peut être utilisé pour l'allongement de la durée de vie en vase des fleurs. La post-récolte est un sujet extrêmement important. Dans certains pays, les déchets post-récolte ont été estimés à plus de 40 % (Kiaya, 2014). Les cultures doivent être commercialement viables, sans danger pour la consommation et acceptables pour les clients. Ce dernier point est très pertinent pour les fleurs où l'on s'attend à ce qu'elles soient belles et durent le plus longtemps possible.

Nguyen et Lim (2022) ont passé en revue les différentes méthodes utilisées pour fournir du H_2 aux plantes. Les plantes utilisées dans les études comprenaient la rose, l'œillet et le lys. Dans l'ensemble, l'application de H_2 augmente la durée de vie en vase des fleurs, et les auteurs ont conclu que de tels travaux devraient être poursuivis pour libérer le potentiel d'utilisation de H_2 dans l'industrie de la floriculture. Fait intéressant, les auteurs discutent également de l'analyse coûts-avantages de l'utilisation d' H_2 et suggèrent que les coûts de main-d'œuvre sont un problème (Li et al., 2022). Certes, comme H_2 est davantage développé pour d'autres industries, comme une source d'énergie de transport (Fayaz et al., 2012), le coût et la livraison d' H_2 sont susceptibles de devenir moins chers.

Selon Li et al. (2021) poursuivre le thème de l'utilisation d' H_2 pour prolonger la durée de vie en vase des fleurs. Leurs données montrent que 5% d'une eau arrosée avec H_2 ont considérablement allongé la durée de vie en vase des œillets coupés. Dans (Ali et al. 2019) les auteurs ont conclu en suggérant que H_2 pourrait avoir de futures applications pour la conservation post-récolte. Certes, le traitement à l'hydrogène moléculaire H_2 est susceptible d'être beaucoup plus sûr que l'utilisation de certaines des alternatives évoquées, telles que le sulfure d'hydrogène qui est connu pour sa toxicité (Guidotti, 2010). Ce n'est peut-être pas trop un problème avec les fleurs, mais cela peut devenir un problème si les mêmes traitements sont utilisés pour la conservation post-récolte des cultures des fruits et légumes.

Cheng et al. (2021) ont apporté des applications d' H_2 sur le terrain, avec des essais pour savoir si ces traitements amélioreront le riz. Eux aussi ils utilisent de l' H_2 , en le comparant à l'eau des fossés. Leurs données montrent qu' H_2 a augmenté la longueur, la largeur et l'épaisseur du riz brun/rugueux et du riz blanc.

Ils ont ensuite examiné l'expression des gènes dans ces plantes et ont pu corrélérer les changements physiologiques avec les altérations moléculaires observées. Dans le riz blanc, ils n'ont vu aucune différence dans la teneur totale en amidon, mais l'enzyme amylase a diminué. L'accumulation de cadmium a également diminué, ce qui est également corrélé aux modèles d'expression génique rapportés. Dans l'ensemble, ces travaux montrent que les traitements à l' H_2 peuvent être appliqués à plus grande échelle, et pas seulement en laboratoire. Les auteurs concluent que l'application d' H_2 augmente la qualité du riz et doit être considérée comme un traitement futur. Bien que des essais sur le terrain avec H_2 aient été écrits avant 2021 (Li et al., 2021), ils sont relativement rares et des travaux à plus grande échelle, comme celui-ci, doivent certainement être entrepris si les traitements avec H_2 doivent être utilisés plus largement dans l'agriculture.

Il existe un nombre croissant de ces preuves, ou l'utilisation d' H_2 est considérée comme avantageuse, qu'elle soit utilisée sur le terrain ou après la récolte.

Les photons UPE

Les photons UPE (autre nom : biophotons, bioluminescence, EPU : Emission de Photons Ultra ténus en Français) sont considérés comme associés aux réactions métaboliques oxydatives essentielles aux activités de la vie.

Cette bioluminescence ultra-faible, également connue sous le nom d'émission de photons ultra-faible (UPE), est l'une des caractéristiques fonctionnelles des organismes biologiques, caractérisée par une luminescence spécialisée à faible niveau d'énergie. De nombreux exemples sont connus en biologie tels que les lucioles, le krill antarctique, les champignons (par exemple *Panellus stipticus*), diverses espèces de calmars, et également dans le règne végétale et humain.

L'émission de lumière par la matière vivante fait l'objet de recherches depuis plusieurs décennies (Phipson, 19862 ; Matern, 1984) et a été décrite par Popp (1979) comme l'émission de paquets ultra faibles d'énergie électromagnétique dans la plage de longueur d'ondes de 200 à 800nm. L'intensité de l'UPE est extrêmement faible : de 10^{-1} à 10^{-3} photons/sec/cm² (ou de manière équivalente 10^{-16} à 10^{-18} W/cm², Kobayashi et al. (1999), ce qui est plus faible de 1/1000 fois la sensibilité de l'œil humain (10^{-12} à 10^{-14} W/cm²). L'intensité ultra-faible de l'UPE le rend indétectable à l'œil nu. Comme l'a revu Renger et al. (1998) les organismes vivants sont capables de produire un rayonnement électromagnétique soit par des réactions enzymatiques entraînant une bioluminescence, soit par des réactions métaboliques, qui provoquent l'émission de photons ultrafaibles possédant des propriétés uniques (Hastings, 1983 ; Popp et al., 1988 ; Rattemeyer et al., 1981).

La recherche sur l'émission de photons UPE humains est apparue dans la littérature depuis les années 1970 et a été associée à des processus à haute énergie au niveau cellulaire tels que le métabolisme, la croissance, la phagocytose, l'activité neuronale et le stress oxydatif (Popp et al., 1992; Niggli et al., 1992). De plus, les émissions de photons UPE ont également été suggérées pour refléter l'état de santé global des organismes et, par conséquent, pour être un indicateur non invasif pour les interventions médicales complémentaires et alternatives (Edwards et al., 1989 ; Usa et Inaba, 1995). Par conséquent, des photons UPE cohérents, c'est-à-dire des photons qui possèdent une phase cohérente, ont été suggérés pour transmettre des informations et peuvent être potentiellement capables de réguler et de contrôler le métabolisme et les processus vitaux (Sauermann et al., 1999 ; Cohen et Popp, 2003).

Concernant le règne végétal, les photons UPE ont été observés pour la première fois par Coli en 1955 (Popp, 1992), dans des semis de plantes telles que le blé et les lentilles. Par la suite, cette émission ultra-faible de photons UPE a été rapportée par de nombreux chercheurs au niveau de l'organisme, des tissus et des cellules (Inaba, 1995 ; Colli et al. 1955 ; Belousov et al., 2000). Dans le règne végétal, le rôle le plus important des photons UPE est de répondre à la fois aux stimuli biologiques (par exemple, agents pathogènes, insectes et blessures) et non biologiques (par exemple, température, sécheresse, concentration de sel et produits chimiques). L'émission de ces photons peut se produire en réponse à la destruction des cellules et à la suite de réactions biochimiques contrôlées dans les cellules. De nombreuses études ont tenté de détecter les réponses au stress chez les plantes à l'aide de photons UPE. L'émission de ces photons UPE se produit également lors du développement, la croissance et est liée à une activité antioxydante de divers organismes, notamment chez les plantes.

Une prise de conscience croissante des bienfaits des antioxydants naturels a conduit à un intérêt croissant pour les propriétés antioxydantes des plantes médicinales. Il est également possible d'évaluer les propriétés antioxydantes des plantes médicinales à l'aide de l'analyse des photons UPE puisqu'elle peut être utilisée comme outil d'évaluation du métabolisme oxydatif dynamique. Plusieurs groupes de recherche ont également mené des études sur les antioxydants en utilisant l'UPE sur les plantes médicinales. Un essai contrôlé randomisé dans Schutgens et al. (2009) a exploré les changements dans les paramètres de l'UPE chez les sujets après l'application de *Rhodiola Rosea*. Une semaine après l'administration de *Rhodiola Rosea*, les sujets du groupe *Rhodiola Rosea* ont montré une réduction significative de l'émission de photons UPE dorsaux des deux mains par rapport au groupe placebo, ainsi qu'une réduction statistiquement significative des niveaux de stress et de fatigue ressentis.

Dans un article publié dans le Journal de la photochimie et photobiologie en mars 2020, intitulé : Émission de photons ultra-faibles comme indicateur de performance de germination chez les semis individuels, les auteurs Mello Gallep et Daniel Robert concluent que "Le niveau d'émission semblait être directement lié à la performance de germination d'un semis". La technique de détection de photons ultra faibles UPE pourrait être utilisée pour distinguer les semis plus sains des semis moins vigoureux. En plus d'identifier les semis les plus vigoureux, Gallep dit que la technique de détection d'UPE pourrait également être utilisée pour examiner la réponse des semis à différents types de sols, d'engrais et de stress environnementaux, y compris les composés toxiques et l'attaque par des agents pathogènes microbiens. Le photon végétal est une luminescence très faible détectée à partir d'organismes photosynthétiques tels que les algues et les plantes.

Récemment, les photons UPE des plantes ont attiré l'attention d'un certain nombre de chercheurs comme Carl Oros et al. (2018) pour fournir de nouvelles informations permettant de visualiser les états physiologiques des plantes.

Jia et al. (2020) ont étudié les propriétés anciennes et contemporaines de certains matériaux à base de plantes chinoises, notamment *Glycyrrhiza glabra* L., *Glycyrrhiza inflata* Batalin, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Curcuma aromatica* Salisb., *Zingiber officinale* Roscoe, *Acorus calamus* L. et *Alpinia officinarum* Hance. Ils ont mis en œuvre la technique UPE par des dispositifs PMT pour différencier les échantillons anciens et contemporains. Ils ont découvert que la technique UPE peut être en mesure d'atteindre le résultat souhaité. Ils ont également suggéré que la technique UPE fournit des données utiles sur l'effet du temps de stockage et l'évaluation de la qualité des médicaments à base de plantes.

Les analyses spectrales consécutives de l'émission de photons ultrafaibles peuvent permettre aux chercheurs de tracer le processus de transition physiologique chez les plantes, conduisant au développement éventuel de produits naturels ou chimiques qui fonctionnent avec la physiologie des plantes pour lutter contre les infections.

Les produits chimiques tels que les herbicides pourraient également agir comme un stress non biologique pour les plantes. Des photons UPE ont été observés dans les racines de plantes stressées. Dans les cellules saines, la concentration de ROS (espèces réactives de l'oxygène, Reactive oxygen species en anglais) est minimisée par un système d'antioxydants biologiques. Cependant, le choc thermique et d'autres stress modifient l'équilibre entre le stress oxydatif et l'activité antioxydante, par exemple, la montée rapide en température induit l'émission de photons UPE par ROS.

Relation entre la variation des photons UPE et la qualité alimentaire

Depuis les années 1990 des liens sont établis entre la qualité d'un aliment et la caractérisation des émissions de photons UPE (Voir Annexe **Tableau 2** en fin de ce document) : Biophoton Measurement as a Supplement to the Conventional Consideration of Food Quality (Lambing, 1992).

Généralement, des méthodes destructives sont largement utilisées pour évaluer la qualité des aliments, mais elles demandent généralement plus de travail et de temps, et endommagent les matières premières. En revanche, les méthodes non destructives qui utilisent un système PMT que l'on retrouve dans les luminomètres ou camera CCD (Charge Coupled Device) permettent de mesurer différents attributs de la qualité des aliments sans affecter la structure physique et leur qualité biochimique. Par conséquent, l'utilisation de méthodes non destructives a attiré de nombreux chercheurs : El-Mesery et al. (2019); Magwaza et al. (2013) sur cette voie. Des techniques non destructives traditionnelles, telles que la vision industrielle, l'imagerie hyper-spectrale, la spectroscopie proche infrarouge (IR), le nez électronique, l'œil électronique, la langue électronique, les mesures par ultrasons et les mesures d'émission acoustique, ont été utilisées pour évaluer la qualité des aliments et des produits agricoles, ces techniques ont été décrites dans El-Mesery et al. (2019); Giovenzana et al. (2017); Kheiralipour et al., (2016); Omar et MatJafri, (2013); Schinabeck et al. (2018); Zhong et Wang (2019).

Actuellement, l'application de techniques impliquant la détection de photons UPE à la qualité des aliments est un sujet étudié dans de nombreux centres de recherche et chez de nombreux industriels dans l'agro-alimentaire, et des enquêtes sont toujours en cours concernant la mesure des indices de qualité des aliments.

L'association entre stress, génération de ROS et émission de photons UPE est bien documentée, et de nombreux chercheurs considèrent que les niveaux de stress des organismes vivants peuvent être déduits en temps réel en mesurant les émissions de photons UPE. De nombreuses études (Michael et al., 2002 ; Wen et al., 2003 ; Michel, 2003 ; Naoko et al., 2006) ont mesuré l'émission de photons UPE chez les plantes en réponse à une variété de stress environnementaux, y compris le sel, la sécheresse, les maladies et l'infestation par les acariens... Dans ces rapports, il a été observé une forte luminescence dans des conditions d'inhibition de croissance marquée ou de blessure mortelle. De plus, la durée du changement d'intensité, le spectre de rayonnement et la distribution spatiale de la luminescence changent en fonction du type de contrainte.

Il est donc établi que les infections pathogènes induisent une augmentation significative des émissions de biophotons chez les plantes. Sur la base des réactions de résistance aux maladies des plantes, les biophotons sont classés en deux types : les émissions relativement faibles observées au cours des premiers stades de la réaction de résistance (Iyozumi et al., 2005), et les fortes émissions des cellules présentant une mort cellulaire programmée au cours de stades intermédiaires de la réaction de résistance pour localiser l'agent pathogène à partir de cellules saines (Bennett et al., 2005). Basé sur l'observation que l'UPE spontanée augmente de manière concomitante sur les conditions de stress conduisant à la production de ROS, d'autres études font apparaître qu'une augmentation de photons UPE traduit dans certaines conditions une amélioration de la qualité des plantes ou de produits alimentaires. (Chen et al. 2003) ont réalisé une étude portant sur l'émission de photons UPE dans des graines de riz *Oryza sativa* L. stockées pendant plusieurs années. Ils ont d'abord observé que le degré de vieillissement des graines de riz était lié à l'intensité des photons UPE spontanée au début de l'imbibition (0–30 min). Les graines de riz stockées pendant une période plus courte avaient une intensité plus forte au début de l'imbibition. Le taux de germination des graines de riz a montré une corrélation positive évidente avec l'intensité des photons UPE spontanée.

Dans (Velimorov 2005) des carottes avec différentes méthodes de culture entre des fermes biologiques et des fermes conventionnelles en Autriche ont été étudiées pendant 5 ans (1998-2003) avec différentes méthodes d'évaluation de la qualité, y compris des tests avec des capteurs PMT mesurant les photons UPE.

Le but était également de vérifier la pertinence de différentes méthodes d'analyse pour différencier ces produits :

- Tests de préférence alimentaire avec des rats de laboratoire (toutes les récoltes) ;
- Tests de décomposition (toutes les récoltes) ;
- Mesure du niveau d'émission de photons UPE (M. Lenzenweger a mené cette enquête à l'Institut atomique de l'Université technique de Vienne avec l'aide du Klima (1999) ;
- Analyse chimique des principaux composants (1998 et 1999). Au cours des 2 premières années, les carottes ont été analysées pour leurs principaux composants : nitrate, glucides (glucose, fructose, saccharose), K, P, Fe, acides organiques (acides malique et citrique), caroténoïdes, matière sèche et cendres.

Les résultats ont montré que les carottes biologiques montraient une capacité significativement meilleure à stocker les photons UPE avec une intensité plus importante par rapport aux carottes conventionnelles.

Dans Grashorn et al. (2007) la qualité des œufs biologiques et conventionnels a été étudiée. L'objectif de la présente expérimentation était donc d'effectuer une évaluation à long terme (1 an) de la qualité des œufs issus de différents systèmes de production (cage, poulailler, plein air, bio) sur la base de critères de qualité conventionnels (résistance à la rupture de la coquille, masse d'œufs, hauteur d'albumen, couleur du jaune, proportion de jaune, profil des acides gras) et émission de biophotons (Grashorn et Egerer, 2007). Les premiers résultats indiquaient que les œufs biologiques présentaient des émissions plus élevées de photons UPE avec un déclin plus lent, une hauteur d'albumine plus élevée, une couleur de jaune plus pâle et une teneur plus élevée en acides gras oméga-3 dans les jaunes. De toute évidence, la mesure par des luminomètres avec PMT peut être une méthode appropriée pour une évaluation intégrée de la qualité des œufs biologiques. Il a été conclu que la mesure de l'UPE pourrait être une méthode appropriée pour évaluer la qualité des œufs biologiques.

Récemment, les méthodes d'analyses traditionnelles (vitamines, oligo-éléments, minéraux) et photons UPE ont été utilisées par Gałazka-Czarnecka et al. (2019) pour déterminer la qualité des œufs. Ils ont sélectionné deux poules différentes, y compris des poules en cage et en liberté, avec 60 œufs, jaune et blanc, pour déterminer la fraîcheur et la qualité. Trois jaunes de chaque type d'œuf ont été mélangés et considérés comme un échantillon. Il a été observé que les photons UPE des œufs de poules élevées en liberté avaient une intensité huit fois supérieure à celle des œufs de poules en cage et un taux de vitamines plus élevé. Les auteurs ont également découvert que les œufs de poules élevées en liberté contenaient plus de trois fois plus de caroténoïdes que les poules en cage. Ils ont déclaré que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour utiliser la méthode UPE comme outil d'évaluation de la qualité des aliments. L'UPE peut être par conséquent utilisée dans la qualité alimentaire comme une technique en temps réel, non invasive et non destructive réalisée sans instruments complexes.

L'objectif de cette étude est d'étudier si et comment l'eau hydrogénée H_2 peut influencer la germination des graines de Luzerne (*Medicago Sativa*) par rapport au même graines arrosées avec de l'eau du réseau et à de l'eau filtrée.

Nous avons décidé d'utiliser la détection de photons UPE par un luminomètre de haute sensibilité comme moyen de détection pour réaliser cette étude.

Cette étude est une preuve de principe pour la recherche sur l'application de H_2 , et visait à développer une nouvelle approche de l'étude des effets des différentes eaux sur les graines.

Nous avons initié une seconde étude afin de mesurer l'impact de l'eau hydrogénée H_2 sur les graines germées, en termes d'analyse de vitamines et de minéraux.

2. Matériels et méthodes

2. 1 Préparation de l'eau enrichie en hydrogène

L'eau enrichie en H_2 a été produite avec un générateur d'eau à hydrogène moléculaire IDROGEN IDP002 de chez LEAU LAVIE, 94 Av. du Dr David Rosenfeld 93230, 93230 Romainville, France.

L'appareil contient une membrane échangeuse de protons (Solid Polymer Electrolyte ou SPE / MEA). La membrane est simultanément un électrolyte polymère solide, dans lequel, sous l'action d'un catalyseur se produit une électrolyse.

L'une des caractéristiques importantes du générateur d'eau hydrogène portable IDROGEN est l'utilisation d'électrodes spéciales en composite de titane recouvertes de platine.

Il est important que l'eau elle-même ne subisse pas d'électrolyse et qu'elle ne soit saturée qu'en hydrogène. Les protons pénètrent dans la membrane sous forme de particules chargées positivement et

se dirigent vers la cathode (électrode négative). L'oxygène ne peut pas pénétrer la membrane échangeuse de protons. Dans la cathode, les protons se combinent avec les électrons pour former de l'hydrogène. Pour pouvoir fonctionner avec n'importe quel type d'eau (eau osmosée, eaux minérales, eau permutée, eau distillée, eau du robinet, etc....), la cellule utilise une membrane faite d'un électrolyte gélifié qui est un polymère fluoré de Nafion (brevet et procédé de chez Dupont) ayant une conductivité de $0,083 \pm 0,004$ S/cm, une densité de $10,85-35,65 \pm 0,02$ mg/cm² pour une épaisseur de 0,05-0,18 mm. Le système dispose aussi un séparateur en téflon afin de former un vide entre l'électrolyte gélifié et l'anode. Le séparateur permet d'établir le contact entre les bords et partie centrale de l'anode.

Il est important d'utiliser un générateur d'hydrogène moléculaire ayant une membrane échangeuse de protons SPE/PEM car avec ce type de membrane, l'hydrogène H₂ est bien séparé des sous-produits de l'électrolyse et d'autres impuretés (par exemple l'ozone et le chlore). **Fig. 1** avec SPE/PEM, **Fig. 2** sans SPE/PEM

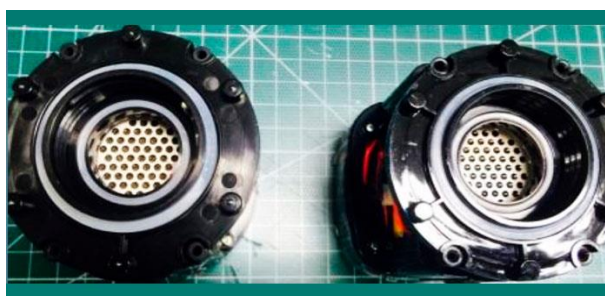


Fig. 1. Système **avec** membrane échangeuse de protons SPE/PEM



Fig. 2. Système **sans** membrane échangeuse de protons SPE/PEM

Méthode utilisée pour l'hydrogénation de l'eau

L'H₂ utilisé pour cette étude a été produite par le générateur IDROGEN et a été introduite dans une bouteille de 500 ml d'eau osmosée pendant cinq minutes. L'International Hydrogen Standard Association (IHSA association internationale) qui définit les normes auxquelles doit répondre les appareils de santé à hydrogène, considère que l'eau dont la concentration en hydrogène est supérieure à 0,5 mg/L (0,5 ppm ou 500 ppb) est considérée comme de l'eau hydrogénée. Selon les données de l'IHSA de 2021, pour commencer à obtenir un effet thérapeutique avec H₂, il faut recevoir au moins 1 mg/l par jour d'hydrogène H₂ [87-88].

La machine IDROGEN (**Fig. 3**) génère une concentration d'hydrogène de 1,1 à 1,3 ppm, soit 1100-1300 ppb équivalent à 1.1 à 1.3 mg/L en mode de fonctionnement pendant cinq minutes. La bouteille d'eau de 500ml est issue de chez le concepteur Leau Lavie. Au bout de 5 minutes, nous avons obtenu une eau de 1320 ppb



Fig. 3. Générateur H₂ avec bouteille 500ml

2. 2 Préparation de l'eau filtrée (Fig. 4)

L'eau filtrée a été produite avec un filtre à charbon IDROGEN de chez LEAU LAVIE, 94 Av. du Dr David Rosenfeld 93230, 93230 Romainville.

- Cartouche de charbon actif compacté et de céramique pour une filtration supérieure ;
- Poids : 340 grammes ;
- Dimension : hauteur : 10 cm ;
- flux : Jusqu'à 1 litre / minute instantanément en fonction de votre pression ;
- Température maximale 40° ;
- Finesse de filtration : 0.45 microns ;
- Pression minimale : 2 bars ;
- Pression maximale : 7 bars.



Fig. 4. Filtre à charbon

2. 3 Préparation de l'eau osmosée (Fig. 5)

L'eau osmosée a été produite avec un filtre à charbon IDROGEN de chez LEAU LAVIE, 94 Av. du Dr David Rosenfeld 93230, 93230 Romainville.

L'appareil intègre :

- Un pré-filtre à sédiments ;
- Un pré-filtre charbon actif ;
- Une membrane d'osmose inverse de 0.0001 micron en filtration ;
- Un post-filtre à charbon ;
- Une lampe UV ;
- et un réservoir interne d'1.2 litre.



Fig. 5. Osmoseur

2.4 Matériel végétal et traitements

Des graines de Luzerne (*Medicago sativa*) ont été acquises auprès de la société Grains de Provence à Villelaure (84530) dans le département Français du Vaucluse. Lieu de culture : Point GPS [43.705333, 5.417017](#) . Pour des raisons de traçabilité, nous avons privilégié un producteur ayant un même lieu de pousse et de culture de ses graines. Ces graines proviennent de la récolte de l'année 2021, N° de lot GGA01-21.

Les graines sélectionnées étaient sans dommage physique, sans maladie et de taille similaire. Les graines ont été lavées à leur arrivée avec de l'eau bidistillée de chez Carl Roth : Formule brute H₂O, Masse moléculaire (M) 18,02 g/mol, de densité (D) 1 g/cm³, pH 5.0-7.0, conductivité ≤2.0 µS/cm, puis essuyées et séchées à 50 °C dans un four à étuve AX30 de Carbolite-gero (Angleterre). Cette méthode de séchage a été choisie pour une efficacité maximale dans la préservation des composés bioactifs. Les graines ont été séparées en 4 groupes de 30gr et chaque groupe a été mis dans un germoir à étage.

Un germoir à étages sans a été choisi pour la germination des graines (**Fig. 6**). Nous avons choisi un germoir à étage sans Bisphénol A afin de supprimer les éventuelles actions du bisphénol A. Le bisphénol A est connu comme perturbateur endocrinien et nous ne connaissons pas son action sur la production de photons UPE.



Fig. 6. Gerموir à étage

Le **gerموir manuel à étage** se compose de 3 parties :

- deux plateaux de germination ;
- un égouttoir ;
- un couvercle.

Caractéristiques techniques :

Dimensions	16,5 x 16,5 x 15,5 cm
Dimensions plateaux	L : 16,5 x l : 16,5 x h : 6,5 cm
Matériau	Plastique sans bisphénol A

Les graines ont été préparées dans 4 récipients séparés contenant 160ml des différentes eaux suivantes :

1. Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5minutes ;
2. Eau filtrée avec filtre à charbon actif puis hydrogénée pendant 5minutes ;
3. Eau filtrée avec filtre à charbon actif ;
4. Eau du réseau ;

Les graines ont été mises à germer dans l'obscurité pendant 1 nuit dans un bol contenant 160ml d'eau à 20°C ± 0.5°C *.

La germination débute par une phase d'imbibition (trempage) d'une durée variable selon les études et le type de graines <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/10/1460#sec2dot2dot2-foods-11-01460>. Par conséquent, le temps d'imbibition a été préalablement optimisé dans nos expériences pour chaque type de graine comme décrit dans la section 2.2.2 de l'étude indiquée dans ce lien. Nous avons adopté pour les graines de luzerne d'une imbibition de 10 h, conduisant à un taux de germination maximal de 88 %.

* La température de l'eau est un élément important dans la phase de germination. Nous nous sommes appuyés sur les travaux mentionnés dans l'étude : <https://doi.org/10.3390/plants11212819> afin de choisir une température optimale à 20° C ± 0.5° C. Les graines ont été arrosées 2 fois par jour (le matin à 9h et le soir à 18h) pendant 8 jours avec 160 ml de leurs eaux respectives (**Fig. 8 à 10**).



Fig 8. Graines arrosées avec l'eau filtrée pendant 8 jours



Fig 9. Graines arrosées avec l'eau du réseau pendant 8 jours



Fig. 10. Graines arrosées avec l'eau osmosée hydrogénée Graines arrosées avec l'eau filtrée pendant 8 jours

2.5 Le luminomètre (Fig. 11-12)

Le système optique des luminomètres utilisés dans cette étude se composent de deux éléments clés :

- une chambre étanche à la lumière pour lire le signal ;
- un PMT pour le détecter.

La lumière peut être quantifiée et son intensité peut être exprimée en RLU. Le faible nombre de photons à mesurer implique plusieurs caractéristiques :

- Les photons émis doivent être captés efficacement et transmis en quasi-totalité au détecteur : c'est le rôle du tube photomultiplicateur qui va « multiplier » les photons à l'aide de plusieurs dynodes ;
- La mesure doit être effectuée dans l'obscurité absolue afin d'éviter toute interférence ;
- La sensibilité du détecteur doit être la plus élevée possible afin de détecter même le plus petit photon.

Un "luminomètre" est composé de :

- un détecteur de lumière qui comptera les photons (tube photomultiplicateur PMT) ;
- une chambre de mesure étanche à la lumière extérieure, dans laquelle sera placé l'échantillon ;
- un ou plusieurs injecteurs de réactif afin de déclencher la réaction (non utilisé dans notre cas) ;
- un système électronique permettant de convertir et d'afficher la mesure de photons en Unités Relatives de Lumière (RLU) sur un écran.

Un luminomètre de chez Berthold, modèle Lumat LB 9508 a été utilisé pour les mesures de la présente étude <https://www.news-medical.net/Lumat-LB-9508-Single-Tube-Luminometer-from-Berthold>.

Ce modèle intègre un PMT de haute sensibilité. Il s'agit d'un tube photomultiplicateur à faible bruit dans la gamme spectrale : 380 - 630 nm, les unités de valeur sont exprimées en RLU (Relativ Light Units).

- Sensibilité : modèle haute sensibilité : <1 amol d'ATP/tube, <1 zmol de luciférase de luciole ;
- Système optique : tube photomultiplicateur ;
- Détecteur(s) : tube photomultiplicateur à faible bruit fonctionnant en mode comptage de photons uniques ;
- Dimensions : (LxlxH) 24 x 28 x 22 cm (ou 9,4 x 11 x 8,7 pouces) ;
- Contrôle de la température : fonctionnement à 15 - 35 °C.



Fig 11. Luminomètre Berthold Lumat 9508



Fig. 12. Lumat 9508 avec échantillon de graines de Luzerne

L'unité est contrôlée via le logiciel ICE. Des lectures de point final uniques et multiples sont réalisables ainsi que des mesures cinétiques et de balayage. Les données sont affichées sous forme numérique et graphique et peuvent être exportées vers EXCEL ou imprimées.

2.6 Le mesureur TDS (Taux de solides dissous en Français)

Chaque eau a été mesurée avec la technique TDS dès le départ avant leur mise en germination.

TDS d'eau est un acronyme anglais pour *Total Dissolved Solid*, ce qui signifie : total des solides dissous. En d'autres mots, il s'agit de mesurer la quantité de particules autre que l'eau (H₂O). Celle-ci s'exprime en PPM (particules par millions). Ces particules sont de tous types : minéraux, bactéries, virus, métaux lourds, chlore, autre particules organiques et inorganiques.

La concentration de solides dissous totaux (TDS) présents dans l'eau est l'un des facteurs les plus importants pour donner le goût de l'eau et fournit également des ions importants tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium (Islam, 2016 ; APE- Utats –Unis, 2018 ; OMS, 2017 ; Wei et al., 2013). Cependant, l'eau avec des mesures élevées de TDS indique généralement une contamination par les activités humaines, telles que le ruissellement du sol et de l'agriculture causé par l'irrigation, le pâturage non réglementé des animaux et les impacts sur la faune, les méthodes agricoles préjudiciables à l'environnement telles que l'agriculture sur brûlis et la surutilisation d'engrais à base de nitrate.

Comme l'indique ces études, la réduction de ces solides aide à réduire la dureté de l'eau et à améliorer le goût de l'eau du robinet.

2.7 Le testeur d'eau hydrogéné

Les concentrations de H₂ dissous ont été mesurées par un compteur d'hydrogène dissous portable BLE-9002.

Spécification

Gamme de mesures :

H₂: 0 ~ 2990ppb

Température: 0.1-60.0 °C; 32.0-140.0 °F

Résolution:

H₂: 1ppt,0.01 ppt

Température: 0.1 °C;0.1 °F

Précision:

Température: ± 0.5 °C

Imperméable à l'eau: IP67

Environnement: 0.1-80.0 °C, RH Max:90%

H₂: calibrage automatique (750ppb)

Size: 187*37*37mm

3. Résultats

3.1 Avec le TDS

Chacune des eaux servant à la germination des graines a été mesurée préalablement afin de connaître son niveau de conductivité et sa température.

Résultats des mesures du 06.04.2023 : l'eau osmosée hydrogénée présente des valeurs plus basses par rapport à l'eau du réseau. Il est difficile à ce stade de faire le lien entre le niveau de TDS et l'activité des photons UPE, mais cela constitue une véritable question et un sujet de recherche à part.

1- eau osmosée puis hydrogénée:

Conductivité : 41 PPM

Température : 20.4°C

2- eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée :

Conductivité : 98 PPM

Température : 20.6°C

3- eau filtrée avec filtre à charbon :

Conductivité : 123 PPM

Température : 20.1°C

4- eau du réseau :

Conductivité : 218 PPM

Température : 20.5°C

3.2 Avec le luminomètre (Fig 13 et Tableau 1)

Le luminomètre et la chambre noire ont été calibrés et mesurés chaque jour. A la réception des graines brutes (J0), 2 grammes de graines non germées ont été misent dans un tube à essai puis placées dans le luminomètre afin d'être mesurées et comparées comme étalon aux valeurs des graines germées entre 1 et 8 jours (résultats **Fig. 13** et **Tableau 1** ci-dessous). Les valeurs à J+6 sont les plus hautes (temps de germination optimum de la graine avant décroissance. Comme l'indique une étude de Fourrages (2016) 228, 261-264 de M. Farissi et Al : Amélioration de la germination de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sous stress salin par traitement pré-germinatif ou, également le point optimal de la germination est à 6 jours.

Résultats : nous avons constaté que l'application d'hydrogène H₂ avait un impact important sur les valeurs photoniques UPE. Nous avons arrêté la prise de mesure à J+8, après 2 jours de constat de la diminution des valeurs photoniques UPE.

Les valeurs à J+8 de l'eau osmosée hydrogénée sont 32 fois supérieures aux valeurs de photons UPE des eaux du réseau.

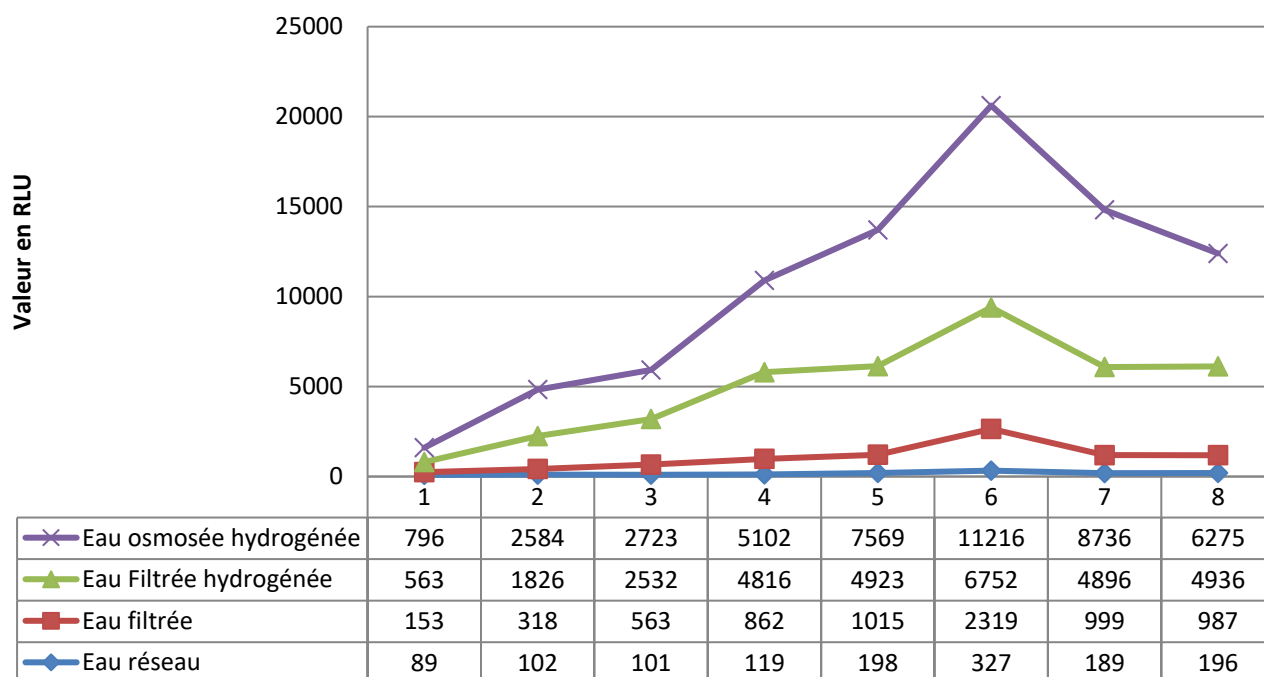
Graines germées arrosées pendant 8 jours avec différentes eaux**Fig 13.** Résultats des mesures avec le luminomètre exprimées en RLU

Tableau 1. Résultats des mesures exprimées en RLU

	Mesures avec le luminomètre BERTHOLD LB 9508		
Type de produit	Dates des mesures	Valeur RLU	Commentaires
Mesure de la chambre noire	06.04.2023 = J0	25	
Mesure du tube à vide	06.04.2023 = J0	26	
Graines non germées	06.04.2023 = J0	70	
Mesure de la chambre noire	07.04.2023 = J+1	28	
Mesure du tube à vide	07.04.2023 = J+1	38	
Graines germées	07.04.2023 = J+1	796	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	07.04.2023 = J+1	563	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	07.04.2023 = J+1	153	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	07.04.2023 = J+1	89	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	08.04.2023 = J+2	24	
Mesure du tube à vide	08.04.2023 = J+2	39	
Graines germées	08.04.2023 = J+2	2584	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	08.04.2023 = J+2	1826	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	08.04.2023 = J+2	318	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	08.04.2023 = J+2	102	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	09.04.2023 = J+3	22	
Mesure du tube à vide	09.04.2023 = J+3	41	
Graines germées	09.04.2023 = J+3	2723	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	09.04.2023 = J+3	2532	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	09.04.2023 = J+3	563	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	09.04.2023 = J+3	101	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	10.04.2023 = J+4	28	
Mesure du tube à vide	10.04.2023 = J+4	31	
Graines germées	10.04.2023 = J+4	5102	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	10.04.2023 = J+4	4816	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	10.04.2023 = J+4	862	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	10.04.2023 = J+4	119	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	11.04.2023 = J+5	21	
Mesure du tube à vide	11.04.2023 = J+5	31	
Graines germées	11.04.2023 = J+5	7569	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	11.04.2023 = J+5	4923	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	11.04.2023 = J+5	1015	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	11.04.2023 = J+5	198	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	12.04.2023 = J+6	29	
Mesure du tube à vide	12.04.2023 = J+6	39	
Graines germées	12.04.2023 = J+6	11216	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	12.04.2023 = J+6	6752	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	12.04.2023 = J+6	2319	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	12.04.2023 = J+6	327	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	13.04.2023 = J+7	29	
Mesure du tube à vide	13.04.2023 = J+7	31	
Graines germées	13.04.2023 = J+7	8736	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	13.04.2023 = J+7	4896	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	13.04.2023 = J+7	999	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	13.04.2023 = J+7	189	Eau du réseau
Mesure de la chambre noire	14.04.2023 = J+8	24	
Mesure du tube à vide	14.04.2023 = J+8	37	
Graines germées	14.04.2023 = J+8	6275	Eau osmosée puis hydrogénée pendant 5mn
Graines germées	14.04.2023 = J+8	4936	Eau filtrée avec filtre à charbon puis hydrogénée pendant 5minutes
Graines germées	14.04.2023 = J+8	987	Eau filtrée avec filtre à charbon
Graines germées	14.04.2023 = J+8	196	Eau du réseau

3.3 Mesures de la longueur des racinelles : (Fig. 14 et Fig. 15).

Nous avons constaté que l'application d'eau osmosée hydrogénée H_2 pendant 8 jours augmentait la longueur des racinelles de 62.5% par rapport à un arrosage avec de l'eau de réseau.

Là également, l'étude de Farissi et al. (2016) 228, 261-264 : Amélioration de la germination de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sous stress salin par traitement pré-germinatif, indique qu'un stress réduit la longueur des racinelles. Une analyse plus poussée de l'eau du réseau que nous avons utilisé permettrait l'éventuelle détection d'éléments pathogènes.

Rappelons toutefois ici qu'une enquête de 2012 de l'UFC-Que Choisir et de Générations Futures, complétée par une étude du quotidien [Le Monde](#) en 2021 auprès des agences régionales de santé (ARS), ont montrées que douze millions de Français ont reçu de manière épisodique, de l'eau non conforme aux critères de qualité. En cause : la présence de pesticides et de leurs produits de dégradation, nommés les métabolites. Environ 20 % des habitants (hors outre-mer) seraient ainsi concernés de temps en temps par une telle pollution, soit beaucoup plus qu'en 2020.

Cette étude a clairement montré que l'application d'hydrogène H_2 pourrait être utilisée comme une approche efficace pour augmenter la qualité de la germination des graines de Luzerne (*Medicago Sativa*).

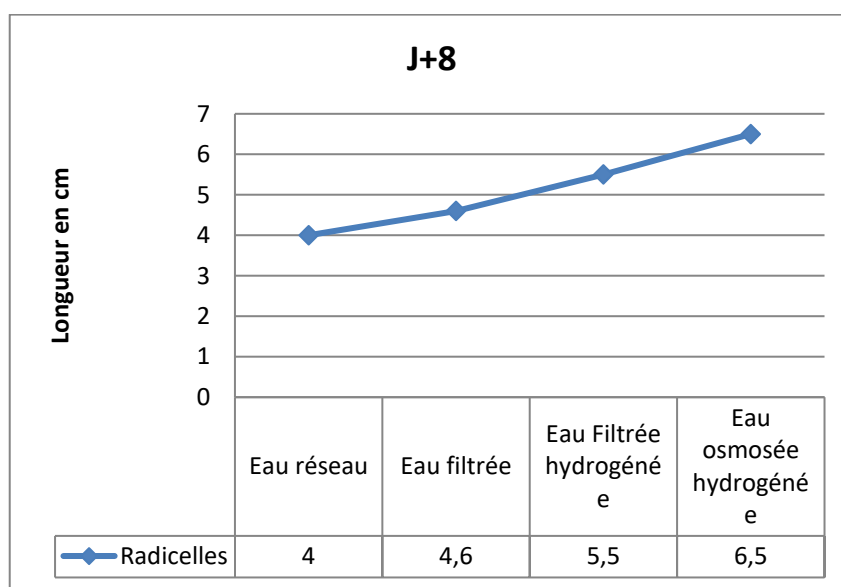


Fig. 14. Mesures de la longueur des racinelles

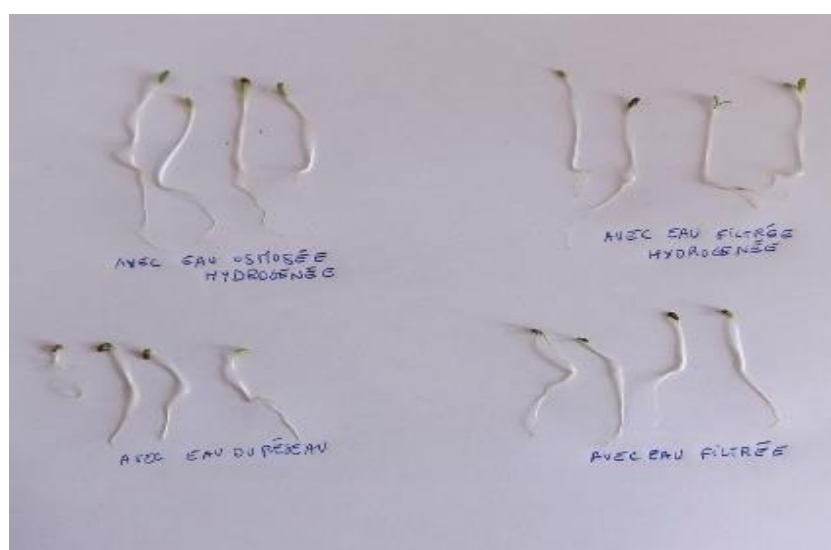


Fig. 15. Mesures de la longueur des racinelles

3.4 Mesures du poids des graines germées (Fig 16)

Après 8 jours de germination, chaque lot de graines (initialement d'un poids de départ 30gr) a été pesé. Des différences de poids significatives ont été trouvées entre les graines arrosées avec de l'eau du réseau et de l'eau osmosée hydrogénée. Le poids des graines germées arrosées avec de l'eau osmosée hydrogénée est de 182.12% plus importante que celles arrosées avec l'eau du réseau.

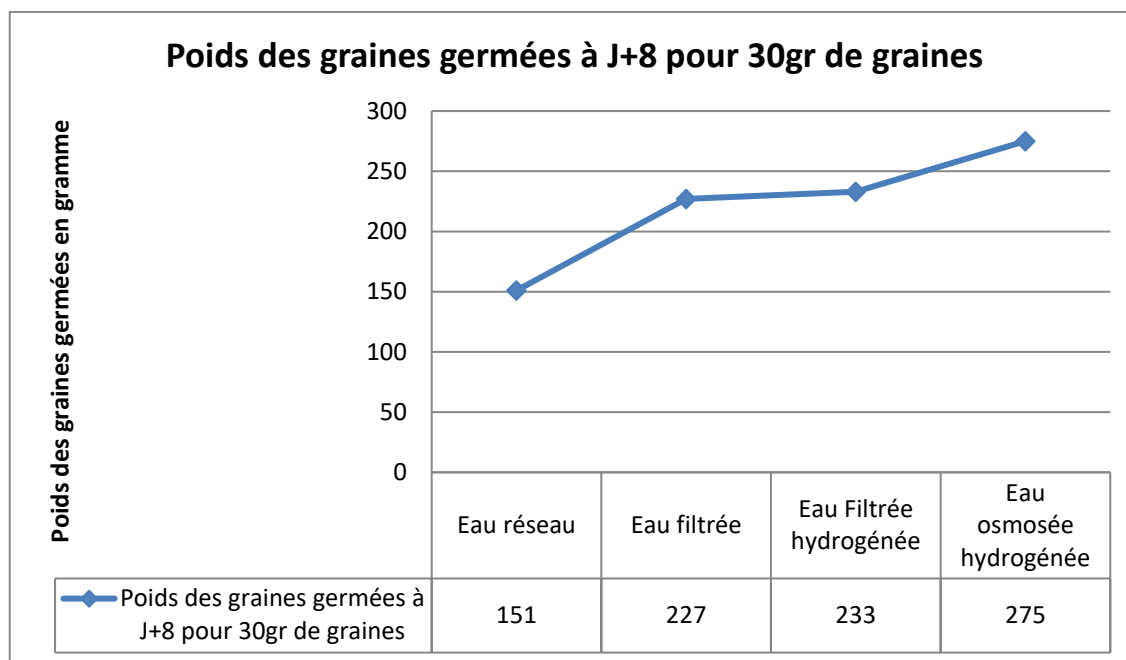


Fig. 16. Résultats de la mesure du poids des grains germées à 8 jours de germination

4. Conclusions et discussions

Ici, l'UPE des graines germées a été enregistrée avec des séries chronologiques par un luminomètre équipé d'un PMT de très haute sensibilité. En résumé, nos résultats ont révélé que la longueur, le poids et l'indice de vitalité (représenté par son niveau d'émission de photon UPE) des graines germées présentaient une relation interdépendante du type d'eau utilisé.

Les données recueillies à chaque jour de la germination indiquent que plus l'émission de photons UPE est élevée plus la germination est vigoureuse. Compte tenu de notre étude et de celles mentionnées dans ce document depuis plusieurs dizaines d'années par des chercheurs du monde entier, il n'est pas surprenant qu' H_2 fasse l'objet d'un intérêt croissant de centres de recherches et de l'industrie agro-alimentaire. Ceci est illustré par la suggestion qu' H_2 pourrait avoir un rôle important dans les environnements agricoles à grande échelle.

La technique d'imagerie biophotonique par détection d'émission de photons UPE peut ouvrir de nouvelles perspectives sur la mesure des interactions entre la qualité d'un aliment, d'un sol et des végétaux qui y poussent et un apport d'eau hydrogénée d'un minimum de 1300ppb comme le montre cette étude.

Comme nous le savons, c'est la première fois que l'on utilise H_2 en comparaison avec des eaux de différentes provenances dans des graines de Luzerne germées, ce qui pourrait constituer une stratégie importante pour améliorer la production agricole durable. Nous avons également admis que l'agriculture basée sur l'hydrogène n'en est qu'à ses débuts et que de nombreux essais complémentaires devraient être poursuivis et élucidés.

À l'avenir, H_2 pourrait être largement appliqué pour réguler la croissance et le développement des plantes afin d'obtenir des cultures à haut rendement et de meilleure qualité.

5. Perspectives

L'analyse des photons UPE est une technique d'analyse complémentaire à des analyses physico-chimiques et permet de donner des indices pour répondre à la question :

Comment obtenir de meilleurs produits alimentaires pour les consommateurs tout en participant à une meilleure qualité environnementale pour notre planète ?

L'utilisation d'une technologie vertueuse pour améliorer la qualité des graines et des plantes est un défi permanent pour la communauté scientifique.

En raison de la croissance démographique mondiale et de la sécurité alimentaire, la qualité des aliments est une question impérative pour l'ensemble de la population. La méthode proposée avec des recherches plus poussées pourrait ouvrir de nouveaux horizons sur de nombreuses branches des sciences.

Avec l'impact de la pollution de l'environnement, des catastrophes naturelles, du changement climatique, de la sécurité alimentaire et de la croissance démographique, la « nouvelle agriculture » interdisciplinaire devient une nécessité pour l'agriculture moderne et l'avenir de l'humanité.

L'amélioration du rendement et de la qualité des cultures agricoles nécessite le développement de solutions simples, intégrées, rentables et respectueuses de l'environnement.

L'hydrogène moléculaire H_2 attire l'attention des chercheurs dans de multiples domaines en raison de ses nombreuses activités biologiques bénéfiques et de ses propriétés zéro déchet résiduel.

6. Références

- APE-États-Unis**, Agence de protection de l'environnement des États-Unis. Édition 2018 des tableaux des normes d'eau potable et des avis de santé (EPA 822-F-18-001) . EPA des États-Unis, Washington DC, États-Unis, Pp. 9–19. 2018.
- A. Prasad, C. Rossi, S. Lamponi, P. Pospíšil and A. Foletti** « Nouvelle perspective dans la communication cellulaire : rôle potentiel de l'émission de photons ultra-faibles » . J. Photochem. Photobiol., B 139 ,Pp. 47–53. 2014
- A. Romano, P. Stevanato, A. Sorgonà, G. Cacco, M.R. Abenavoli**, « Réponse dynamique des principaux traits de germination au stress NaCl dans les semences de betterave à sucre ». Sucre Tech. 2018. doi : 10.1007/s12355-018-0660-9.
- A. Velimirov**, « La qualité supérieure constante des carottes d'une ferme biologique en Autriche par rapport aux fermes conventionnelles ». Actes du 15e Congrès mondial biologique de l'IFOAM « Rechercher et façonner des systèmes durables », 21-23 septembre 2005, Adélaïde, pp. 1-4. 2005.
- B. Shafii, W.J. Price, J.B. Swensen, G.A. Murray**, « Estimation non linéaire des modèles de courbe de croissance pour l'analyse des données de germination ». Dans : Manhattan KS, Milliken GA, Schwenke JR, éditeurs. Actes de la conférence de 1991 de l'Université d'État du Kansas sur les statistiques appliquées à l'agriculture. Université d'État du Kansas; Manhattan, KS, États-Unis : Pp. 19–42. 1991.
- C.C. Baskin, J.M. Baskin**, « Seeds : Écologie, biogéographie et évolution de la dormance et de la germination. presse académique ; New York, NY, États-Unis : 2001. Chapitre 2.
- C. Mello Gallep**, « Émission ultrafaible et spontanée de photons chez les semis : applications toxicologiques et chronobiologiques », Luminescence, vil. 29 ,Pp. 963–968.2014.
- C.C. Winterbourn**, « La chimie biologique du peroxyde d'hydrogène ». Méthodes Enzymol. ; vol. 528, Pp. 3–25. 2013.

- D.T. Hess, J.S. Stamler**, « Régulation par S-nitrosylation de la modification post-traductionnelle des protéines ». *J. Biol. Chim.* ;vol. 287, Pp. 4411–4418. 2012. doi : 10.1074/jbc.R111.285742.
- F.A. Popp**, « Quelques questions essentielles sur la recherche sur les biophotons et les réponses probables », dans : Popp FA., Li KH., Gu Q. (eds.) *Recent advances in Biophoton Research and its Application*, World Scientific, Singapour, , p 1- 42. 1992.
- F.A. Popp, K.H. Li, Q. Gu**, “Recent Advances in Biophoton Research and its Applications. World Scientific, Singapour”, 1992.
- F. Hay, A. Mead, M. Bloomberg**, « Modélisation de la germination des graines en réponse à des variables continues : Utilisation et limites de l'analyse probit et des approches alternatives ». *Semence Sci. Rés.* ; vol. 24, Pp. 165–186. 2014. doi : 10.1017/S096025851400021X.
- G. Renger**, « Réactions photophysiques dans les cellules. Dans : Biophotons. Chang JJ, Fisch J, Popp FA (éd.). Springer Science + Business Media, Dordrecht. ; 1-18. 1998.
- G. Russell, F. Zulfiqar and J. T. Hancock**, “Les hydrogénases et le rôle de l’hydrogène moléculaire chez les plantes », *Plantes*, vol. 9, n°9, Pp. 1-15. 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9091136>.2020
- G. Sauermann, W.P. Mei, U. Hoppe**, « Émission de photons ultrafaibles de la peau humaine in vivo : Influence des antioxydants appliqués localement sur la peau humaine ». *Meth Enzymol*. Vol. 300, Pp. 419-428. 1999.
- H.J. Niggli**, « Photons ultrafaibles émis par les cellules : biophotons ». *J PhotochemPhotobiol B Biol.*, vol.14, Pp. 144-146. 1992.
- H. Inaba**. « Imagerie biophotonique ultrafaible et caractérisation de l'information, dans : Sueta T., Okoshi T. (eds.), *Ultrafast and Ultra-Parallel Optoelectronics*, Ohmsha/John Wiley and Sons, Tokyo, Pp. 570-580. 1995.
- H. Lyozumi, K. Kato, C. Kageyama, H. Inagaki, A. Yamaguchi, K. Furuse, K. Baba, H. Tsuchiya**, « Les activateurs de défense des plantes potentialisent la génération de photons sensibles à l'élévateur émission dans le riz. *Physiol. Mol. Pathologie végétale* », vol. 66, Pp. 68-74. 2005.
- H. Michel**, « Émission photonique spontanée et thermoinduite : nouvelles méthodes pour détecter et quantifier le stress oxydatif chez les plantes ». *Tendances en phytologie*, vol. 8, Pp. 409–413. 2003.
- I. Gałazka-Czarnecka, E. Korzeniewska, A. Czarnecki, M. Sójka, , P. Kiełbasa and T. Drózdź**, « Évaluation de la qualité des œufs de poules élevées en cage et en plein air en utilisant méthodes traditionnelles et luminescence ultra-faible ». *Sciences appliquées*, vol. 9, n°12, Pp. 2430. 2019. [10.3390/app9122430](https://doi.org/10.3390/app9122430)
- J.F. Michael, O. Kvin, M.M. Phillip, R.B. Neil**, « Imagerie des réponses au stress photo-oxydatif dans les feuilles ». *J. Experimental Botany*, vol. 53, Pp. 1249–1254. 2002.
- J.W. Hastings**, « Diversité biologique, mécanismes chimiques et origines évolutives des systèmes bioluminescents ». *J Mole*, vol. 19 : 309-321. 1983.
- J. Zeng, M. Zhang, X. Sun**, « L'hydrogène moléculaire est impliqué dans la signalisation des phytohormones et les réponses au stress chez les plantes ». *PLoS ONE*, Vol. 2, n° 8 :e71038. 013. doi : 10.1371/journal.pone.0071038.
- K. Lambing**, « Mesure des biophotons en complément de la considération conventionnelle de la qualité des aliments ». In : Popp, F. A. Li, K. H. et Gu, Q. (eds) *Recent advances in biophoton research and its applications*. World Scientific, Singapour, Singapour, pp. 393-413. 1992.

- L. Belousov, F.A. Popp, V. Voeikov, RV.Wijk**, « Biophotonique et systèmes cohérents : Moscow University Press, Moscou ; 2000.
- L. Colli, U. Facchini, G. Guidotti, RD. Lonati, M. Orsenigo, O. Sommariva**, « Autres mesures sur la bioluminescence des semis ». *Expérience*; vol. 11, Pp. 479-81. 1955.
- L.C. Wen, X. Da, T. Shici, T. Yonghong, H. Yonghong**, « Imagerie de la bio-chimiluminescence ultra-faible et de la génération d'oxygène singulet dans le soja en germination en réponse à une blessure ». *Luminescence*, vol.18, Pp. 37–41. 2003.
- L. Li, Q. Yin, T. Zhang, P. Cheng, S. Xu, W. Shen**, « Hydrogen nanobubble water retarde la sénescence des pétales et prolonge le vase vie des fleurs d'œillets coupés (*Dianthus caryophyllus* L.) », *Plantes*, vol. 10, Pp 1662. 2021.
- L. Li, Q. Yin, T. Zhang, P. Cheng, S. Xu, W. Shen**, « L'eau de nanobulles d'hydrogène retarde la sénescence des pétales et prolonge la durée de vie en vase des fleurs d'œillets coupées (*Dianthus caryophyllus* L.) ». *Végétaux* ; vol. 10 :1662. 2021. doi : 10.3390/plants10081662.
- L. Li, Y. Zeng, X. Cheng and W. Shen**, « Les applications de l'hydrogène moléculaire en horticulture », *Horticulturae* , vol. 7, n°11, Pp. 513. 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110513>
- L. Li, Y. Zeng, X. Cheng, W. Shen** « Les applications de l'hydrogène moléculaire en horticulture ». *Horticulture*, vol. 7, P. 513. 2021. doi : 10.3390/horticulturae7110513.
- L. Li, W. Lou, L. Kong, W. Shen** « L'hydrogène communément applicable de la médecine à l'agriculture : des mécanismes moléculaires au terrain ». *Courant. Pharm. Dés.* vol. 27, Pp.747–759. 2021. doi : 10.2174/1381612826666201207220051.
- M.A. Grashorn and U. Egerer**, « Évaluation intégrée de la qualité des œufs biologiques de poule par mesure de la luminescence sombre ». *Journal polonais des sciences de l'alimentation et de la nutrition* , vol. 57, n°4 [A]), Pp. 191–194. 2007.
- M.A. Ranal**, de Santana DG Comment et pourquoi mesurer le processus de germination ? *Braz. J.Bot.* , vol. 29, Pp. 1–11. 2000. doi : 10.1590/S0100-84042006000100002.
- M. Bennett, M. Mehta, M. Grant**, « Imagerie biophotonique : une méthode non destructive pour analyser les réponses du gène R. *Mol. Interaction plante-microbe* ». ; vol.18, Pp. 95-102. 2005.
- M. Chen, W. Cui, K. Zhu, Y. Xie, C. Zhang, W. Shen**, « L'eau riche en hydrogène atténue l'inhibition induite par l'aluminium de l'élongation des racines dans la luzerne en diminuant la production d'oxyde nitrique ». *J. Hazard. Mater*, 267, Pp. 40–47. 2014. doi : 10.1016/j.jhazmat.2013.12.029.
- M. Rattemeyer, F.A. Popp, W. Nagl**, « Preuve de l'émission de photons par l'ADN dans les systèmes vivants ». *Naturwissenschaften*.;vol. 68 : Pp. 572-574. 1981.
- M.R. Islam**, « Une étude sur le niveau de TDS de l'eau minérale potable au Bangladesh ». *American Journal of Applied Chemistry*, vol. 4, n°5, 164. 2016. doi : 10.11648/j.ajac.20160405.11
- M. Usa, H. Inaba**, « Émission spontanée de photons du corps humain ». *Technologie d'imagerie médicale.* ; vol. 13, Pp 47-541. 995.
- N.Y. Shen, J.B. Bi, J.Y. Zhang, S.M. Zhang, J.X. Gu, K. Qu, C. Liu**, « L'eau riche en hydrogène protège contre les maladies inflammatoires de l'intestin chez la souris en inhibant le stress du réticulum endoplasmique et en favorisant l'expression de l'hème oxygénase-1 ». *Monde J. Gastroenterol.* ; vol. 23, 1375. 2017. doi : 10.3748/wjg.v23.i8.1375.
- OMS**, Organisation mondiale de la santé, « Recommandations pour la qualité de l'eau potable », Quatrième Inter. J. Nat. Resour. Env. Vol. 5, No. 1, pp. 31-57 (2023)

édition intégrant le premier addenda . OMS, Genève, Suisse, 423, pp. 7, 219–230. 2017.

- P.B. Hylemon, S.C. Harris, J.M. Ridlon**, « Métabolisme des gaz hydrogène et des acides biliaries dans le microbiome intestinal ». *FEBS Lett.* ; vol. 592, Pp. 2070–2082. 2018. doi : 10.1002/1873-3468.13064.
- P. Cheng, J. Wang, Z. Zhao, L. Kong, W. Lou, T. Zhang, D. Jing, J. Yu, Z. Shu, L. Huang**, « L'hydrogène moléculaire augmente les caractéristiques quantitatives et qualitatives du grain de riz dans les essais sur le terrain ». *Végétaux.* ; vol. 10, 2331. 2021. doi : 10.3390/plants10112331.
- Q. Sun, W. Han, A. Nakao**, « Biologie moléculaire et médecine de l'hydrogène. Springer ; Dordrecht, Pays-Bas :. Sécurité biologique de l'hydrogène »; Pp. 35–48. 2015.
- Q. Wu, N. Su, J. Cai, Z. Shen, J. Cui**, « L'eau riche en hydrogène améliore la tolérance au cadmium dans le chou chinois en réduisant l'absorption de cadmium et en augmentant les capacités antioxydantes ». *J. Plant Physiol.* ; vol. 175, Pp. 174–182. 2015. doi : 10.1016/j.jplph.2014.09.017.
- R. Edwards, M. Clibson, J. Jessel-Kenyon**, « Emission lumineuse du corps humain ». *Complément Med Res.* ; vol. 3, Pp. 16-19. 1989.
- S. Ali, A. Nawaz, S. Ejaz, S.T.A. Haider, M.W. Alam, H.U. Javed**, « Effets du sulfure d'hydrogène sur la physiologie post-récolte des fruits et légumes : un aperçu ». *Sci. Hortique*, Vol. 243, Pp, 290–299. 2019. doi : 10.1016/j.scienta.2018.08.037.
- S. Cohen, F.A. Popp**. Émission de biophotons du corps humain ». *Indian J Exp Biol.* ;vol. 41, Pp. 440-445. 2003.
- S. Hasegawa, M. Ito, M. Fukami, M. Hashimoto, M. Hirayama, K. Ohno**, « L'hydrogène moléculaire atténue les déficits moteurs et la dégénérescence musculaire chez les souris mdx », *Redox Rep*, vol. 22, Pp. 26–34. 2017.
- S. Xu, S. Zhu, Y. Jiang, N. Wang, R. Wang, W. Shen., J. Yang**, “L'eau riche en hydrogène atténue le stress salin du riz pendant la germination des graines ». *Sol végétal*, vol. 370, Pp.47–57. 2013. doi : 10.1007/s11104-013-1614-3.
- Takaaki Sakai, Bunpei Sato, Koji Hara, Yuichi Hara, Yuji Naritomi, Samon Koyanagi, Hiroshi Hara, Tetsuhiko Nagao and Toru Ishibashi** “Consumption of water containing over 3.5 mg of dissolved hydrogen could improve vascular endothelial function”, *Vascular Health and Risk Management*, vol.10:, Pp 591-597, 2014. DOI: 10.2147/VHRM.S68844
- T. Huang, W. Wang, C. Tu, Z. Yang, D. Bramwell, X. Sun**, « Une solution saline riche en hydrogène atténue les lésions d'ischémie-reperfusion dans le muscle squelettique. *J Surg Res.* ; vol. 194, Pp. 471–80. 2015.
- T.K. Nguyen J.H. Lim**, « Est-ce un défi d'utiliser de l'hydrogène moléculaire pour prolonger la durée de vie d'un vase à fleurs ? » *Végétaux.* 2022 ; 11 :1277. doi : 10.3390/plants11101277.
- T.L. Guidotti**, « Sulfure d'hydrogène : Avancées dans la compréhension de la toxicité humaine ». *Int. J. Toxicol.* ; vol. 29, Pp. 569–581. 2010. doi : 10.1177/1091581810384882.
- T.L. Phipson** « Phosphorescence - ou l'émission de lumière par les minéraux, les plantes et les animaux, Londres », 1862.
- U. Matern**, *Geschichte und Mechanismus der Biolumineszenz. Biologie in unserer Zeit.* 1984; 14 : 140-149.
- V. Kiaya**, « Pertes post-récolte et stratégies pour les réduire ». *Technologie. Bouillie. Pertes Post-récolte Action Contre La Faim (ACF)*, vol. 25, Pp. 1–25. 2014.

- W. Chen, D. Xing, J. Wang, and Y. He**, « Détermination rapide de la vigueur des graines de riz par chimioluminescence spontanée et génération d'oxygène singulet au cours de l'imbibition précoce ». *Luminescence : Le tourillon de la luminescence biologique et chimique*, vol. 18, n°1, Pp. 19–24. 2003. 10.1002/bio.695 <https://doi.org/10.1002/bio.695>
- W. Tyler LeBaron, R. Sharpe and K.**, «Electrolyzed–Reduced Water: Review I. Molecular Hydrogen Is the Exclusive Agent Responsible for the Therapeutic Effects», *Int. J. Mol. Sci.*, vol.23, n°23, 14750. 2022. <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/23/14750>
- Y. Naoko, K. Kimihiko, K. Chizuko, F. Kenji, N. Ritsuo**, « Émission de photons ultrafaibles de plants de maïs herbivores blessés ». *Naturwissenschaften*, vol. 93, Pp. 38–41. 2006.
- Z. Wei, L. Simin, T. Fengbing**, « Caractérisation de la pollution par ruissellement urbain entre les phases dissoute et particulaire », *La revue scientifique mondiale*, Pp. 1–6. 2013. doi: 10.1155/2013/964737.
- Z. Zhao, C. Li, H. Liu, J. Yang, P. Huang and W. Liao**, « L'implication du glucose dans l'enracinement adventif médicamenteux à l'hydrogène H₂ dans le concombre », *Plants*, vol. 10, 1937. 2021. doi : 10.3390/plants1009

Annexe

Tableau 2. La relation entre la qualité des aliments et l'UPE.

Auteurs/années	Goûter	Objectif	Préparation	Conclusion
Lambing, 1992	Lait pasteurisé, homogénéisé et ultra-haute température	Évaluation de la qualité du lait	Les échantillons ont été exposés à des lumières blanches, rouges et bleues (éclairage lumineux)	L'UPE a été principalement augmenté après l'application d'un éclairage lumineux aux échantillons
Lambing, 1992	Oeuf de poule	Trouver l'origine des œufs	Trois cent vingt-cinq poules brunes ont été réparties en quatre groupes différents	Les œufs de cages ou de sol présentent un taux d'UPE plus faible que les œufs de poules élevées en plein air
Lambing, 1992	Huiles de tournesol	Évaluation de la qualité des huiles de tournesol	Les huiles de tournesol ont été divisées en trois groupes	Un taux élevé d'UPE après un éclairage à la lumière rouge a été observé
Slawinska et Slawinski, 1997 , 1998	Produits céréaliers	Évaluation de la qualité des produits céréaliers	Hydratation des produits alimentaires céréaliers	L'incorporation d'eau dans les produits céréaliers a augmenté l'intensité de l'UPE
Triglia <i>et coll.</i> , 1998	Fruits de tomate	Étudier la qualité des fruits de la tomate	Les fruits de tomates ont été récoltés à quatre stades de maturité et stockés pendant 10 jours	Les fruits de tomate avec des couleurs similaires avaient des différences significatives dans l'intensité de l'UPE
Chen <i>et al.</i> , 2003	Graines de riz	Trouver la corrélation entre le degré de vieillissement et les taux de germination des graines de riz avec l'intensité de l'UPE	Les semences de riz sont stockées à différentes années	Il a été révélé que les graines de riz stockées pendant une période plus courte avaient une intensité plus vigoureuse d'UPE au début de l'imbibition.
Gallep <i>et al.</i> , 2004	Graines de café	Trouver la corrélation entre la viabilité des	Six groupes d'échantillons ont été exposés à la lumière	La méthode proposée avec des investigations supplémentaires peut

Auteurs/années	Goûter	Objectif	Préparation	Conclusion
Vélimirov, 2005	Carottes	graines de café et l'intensité de l'UPE Pour l'étude des paramètres de qualité des carottes cultivées issues d'exploitations biologiques et conventionnelles	blanche à une température constante Le même cultivar de carotte cultivé dans la même région a été considéré pendant 5 ans	être utilisée pour promouvoir les progrès dans les méthodes de stockage via la technique UPE Une capacité significativement meilleure à stocker les biophotons dans les échantillons de carottes organiques a été notée par rapport aux échantillons conventionnels
Gallep et Dos Santos, 2007	Graines de blé en germination	Étudier la relation entre la croissance des semis et l'intensité de l'UPE	Les échantillons ont été placés dans trois solutions de sédiments d'eaux usées différentes	Une relation entre la croissance des semis et l'intensité lumineuse détectée a augmenté au fil du temps
Grashorn et Egerer, 2007	Oeufs bio et conventionnels	Pour évaluer la qualité des paramètres des œufs	Quatre groupes différents d'œufs ont été considérés pour mesurer l'intensité de l'UPE	Les œufs biologiques ont montré un UPE plus élevé avec un déclin plus lent que les œufs conventionnels
Wang et Yu, 2009	Grain de blé	Étude de la corrélation entre l'intensité de l'UPE et la vigueur du grain de blé irradié et sa dose d'irradiation	Les grains de blé et la farine de blé ont été irrités par des sources de ⁶⁰ Co. des échantillons ont été sélectionnés et stockés pendant quelques mois pour la mesure de l'UPE	L'analyse UPE ne peut pas être utilisée pour détecter la dose d'irradiation mais est capable de déterminer la vigueur
Hossu <i>et al.</i> , 2010	Patate douce	Corrélation entre la mesure UPE et la qualité des échantillons	Une solution d'Ag NP avec différentes concentrations a été ajoutée à la surface des échantillons. Puis des mesures UPE ont été réalisées pour	UPE a été amélioré jusqu'à 15 fois en ajoutant Ag NP

Auteurs/années	Goûter	Objectif	Préparation	Conclusion
			trois cas	
Kausar <i>et al.</i> 2012	soja	La corrélation entre l'UPE et la croissance des semis sous les stress d'inondation et de sécheresse	Les échantillons âgés de 3 jours ont été exposés à des inondations ou à des stress de sécheresse pendant 2, 4 et 6 jours	Des schémas différentiels d'UPE ont été détectés pour les jours considérés, et l'UPE maximale était évidente sous le stress des inondations
Khatoun <i>et al.</i> 2012	soja	La corrélation entre la croissance des semis sous stress d'inondation et l'intensité de l'UPE	Les échantillons âgés de 2 jours ont été exposés à des stress d'inondation ou de sécheresse pendant 5 jours	L'UPE a été augmenté dans les échantillons de soja inondés par rapport aux échantillons non traités
Komatsu <i>et al.</i> 2014	soja	Corrélation entre la croissance des semis sous stress abiotiques et l'intensité de l'UPE	Les échantillons âgés de 2 jours ont été exposés à des stress abiotiques pendant 5 jours	Des schémas différentiels d'UPE ont été détectés pour les jours considérés, et l'UPE maximale était évidente sous le stress d'inondation par rapport au stress de sécheresse ; et aussi, l'UPE des feuilles traitées au cadmium était plus élevée que celle du soja non traité
Kamal et Komatsu, 2016	Soja	Étude des systèmes moléculaires basée sur l'inondation des racines d'échantillons stressés et l'évaluation de l'UPE	Exposition des racines de l'échantillon au stress d'inondation ainsi qu'à des situations de lumière et d'obscurité	L'UPE a été considérablement augmentée par le stress d'inondation, puis a diminué avec une exposition continue aux inondations
Cordeiro <i>et al.</i> , 2017	Échantillons d'eau	Évaluer la contamination des échantillons d'eau d'une rivière	L'UPE d'échantillons d'eau d'une rivière près de la ville de Curitiba au Brésil par les coliformes a été évaluée	Les mesures UPE sont un moyen efficace de faire la distinction entre les échantillons contaminés et non contaminés

Auteurs/années	Goûter	Objectif	Préparation	Conclusion
Grasso <i>et al.</i> , 2018	Graines de pastèque	Vérification des performances de croissance des graines de pastèque vieilles ou endommagées par nature	Les échantillons ont été placés dans un état sombre contrôlé jusqu'à ce qu'une longueur de racine de 2 mm soit atteinte. Pour l'analyse spectrale de l'UPE, les filtres interférentiels ont été utilisés	Les mesures UPE étaient strictement liées à l'état biologique du système analysé
Nawara <i>et al.</i> , 2018	Échantillons alimentaires	Conception et fabrication de la station d'évaluation de la qualité des aliments	L'appareil conçu devait mesurer le degré d'UPE des matières organiques et des processus	La station de mesure est un moyen utile de comparer la qualité des aliments traditionnels avec des aliments similaires produits par des méthodes industrielles
Sun <i>et al.</i> , 2019	Matériaux à base de plantes	Pour identifier les matériaux à base de plantes authentiques des contrefaçons	A cet effet, quatre catégories de tests ont été sélectionnées	L'UPE peut être utilisée comme une méthode rapide, simple et peu coûteuse, plutôt que des techniques conventionnelles pour identifier les matériaux à base de plantes
Gałązka-Czarnecka <i>et al.</i> , 2019	Des œufs	Évaluation de la qualité des œufs	Deux poules différentes, dont une en cage et une en plein air, ont été sélectionnées pour déterminer leur fraîcheur et leur qualité	Il a été observé que l'UPE des œufs élevés en liberté avait une intensité huit fois plus élevée que celle des œufs de poules en cage. Ils ont également constaté que les œufs de poules élevées en liberté avaient plus de trois fois plus de caroténoïdes que les œufs de poules en cage.
Jia <i>et al.</i> 2020	Matériaux à base de plantes	Étudier les propriétés des matières végétales chinoises anciennes et contemporaines	L'analyse UPE a été réalisée sur certains groupes sélectionnés de matériaux anciens et contemporains	Ils ont constaté que la technique UPE peut être utilisée pour différencier les échantillons âgés et contemporains

Auteurs/années	Goûter	Objectif	Préparation	Conclusion
			de leurs espèces correspondantes	