



**Rapport N° DTE/DR/2022/705 du 03-10-2023**

## **Étude comparative du niveau d'émission de biophotons et de la valeur énergétique des tomates issues de l'électroculture et de culture conventionnelle**



### **1. Introduction**

Les cellules végétales utilisent l'énergie lumineuse pour soutenir et ordonner des processus vitaux complexes, comme par exemple lors du processus de la photosynthèse où l'énergie lumineuse captée par la chlorophylle est convertie en énergie chimique, sous forme de matière organique.

Depuis le début du siècle dernier, de nombreuses études scientifiques ont révélé la présence d'une lumière ultra-faible (biophotons) au sein de la plupart des organismes vivants, qui diffère de la bioluminescence produite par les systèmes luciférine-luciférase chez les lucioles, les photobactéries et les hydroméduses [1] [28].

Dans la présente étude, ENERLAB™ s'intéresse à la détection et au comptage de biophotons dans certains produits alimentaires, en particulier dans les tomates.

Ces photons sont mesurables par des outils scientifiques modernes que sont les analyseurs de particules de type spectroscopes, luminomètres et cameras CCD/EMCCD/CMOS.

Pour la mesure de la quantité de biophotons, ENERLAB™ a utilisé un luminomètre équipé d'un tube photomultiplicateur (PMT) ultra-sensible dont les valeurs sont exprimées en RLU (unité relative de lumière / Relative Light Units).

Pour la mesure de l'intensité énergétique des biophotons, ENERLAB™ a utilisé une caméra CCD refroidie de très haute définition. De plus, le logiciel spécifique qu'ENERLAB™ a développé pour la camera CCD permet d'obtenir une distribution spatiale de l'énergie des biophotons mesurés.

ENERLAB™ s'est focalisé sur l'impact en termes d'émission de biophotons ultra faibles dans ces aliments en analysant la quantité et l'intensité d'UPE présents dans les différents échantillons.

Les résultats de notre étude ont montré une activité biophotonique plus importante pour les tomates issues de l'électroculture.

La quantité de biophotons présents dans les tomates « électrocultivés » présente un niveau supérieur entre 80 et 290 % par rapport aux tomates cultivées de manière conventionnelle. La question sous jacente que nous nous posions était de savoir si les tomates conservaient dans le temps les signes bénéfiques démontrés du champ électromagnétique dans ce mode de culture.

## 2. Biophotons et plantes

Il y a près de 50 ans le Prix Nobel Erwin Schrödinger a dit que la qualité d'un aliment était d'autant meilleure que cet aliment était capable de transmettre de l'ordre au consommateur.

L'imagerie à l'aide de biophotons offre une nouvelle méthodologie pour évaluer la physiologie des plantes.

L'émission spontanée de biophotons (UPE) et la luminescence retardée (DL pour delayed luminescence) des plantes sont étudiées depuis cinq décennies. En 1954, Colli et Facchini découvrent l'UPE dans les plantes en germination. Depuis, l'UPE a été observée dans les tissus végétaux, les cellules et les chloroplastes isolés. L'UPE est considérée comme provenant de processus métaboliques oxydatifs et de stockage de photons de macromolécules. La DL a d'abord été découverte dans les plantes vertes par Strehler et Arnold 1951. Après illumination avec de la lumière rouge et infrarouge, un maximum relatif apparaît dans la décroissance de la DL émise par les plantes.

Le biophoton végétal est une luminescence très faible détectée à partir d'organismes photosynthétiques tels que les algues et les plantes. Il peut être détecté par un détecteur de photons tel qu'un tube photomultiplicateur (PMT), ou une caméra haute sensibilité avec une fonction de multiplication (camera CCD).

En mesurant les biophotons des plantes, il est possible de voir directement le mouvement de la photosynthèse. Dans la photosynthèse, la chlorophylle utilise l'énergie lumineuse pour décomposer l'eau et extraire des électrons. Les électrons sont stockés dans la molécule porteuse, dont la plupart sont utilisés comme énergie pour la photosynthèse. Une petite partie des électrons stockés est reconvertie en « photons végétaux ».

Récemment, les biophotons des plantes ont attiré l'attention pour fournir de nouvelles informations permettant de visualiser les états physiologiques des plantes (Carl L. Oros, Fabio Alves et al., 2018, Ankush Prasad, Prabhakar Gouripeddi, Hanumanth Rao Naidu Devireddy, Alina Ovsii, Dattatreya Prabhu Rachakonda, Roeland Van Wijk and Pavel Pospíšil décembre 2020, Sergio Landeo Villanueva, Michele C. Malvestiti, Wim van Ieperen, Matthieu HAJ Joosten, Jan AL van Kan 26 janvier 2021).

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 [29]. Des biophotons 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 biophotons par ROS [30] [31].

## 3. Relation entre biophotons et qualité alimentaire

### Le biophoton : marqueur de la qualité d'un aliment

Il y a près de 50 ans le Prix Nobel Erwin Schrödinger a fait comprendre que la qualité d'un aliment était d'autant meilleure que cet aliment était capable de transmettre de l'ordre au consommateur.

On sait que la nourriture fournit aux organismes une **exergie\***, qui est essentiellement de l'énergie associée à moins d'entropie. Une faible entropie est associée à l'ordre.

\*L'**exergie** est une grandeur physique permettant de mesurer la qualité d'une énergie

Le biochimiste et prix Nobel [Lehninger](#) mentionne dans son manuel que certaines réactions dans la cellule vivante se produisent beaucoup plus rapidement que la plupart de certaines réaction bio-chimiques à une température de 37 ° C. L'explication semble être que le corps dirige délibérément des réactions chimiques au moyen de vibrations électromagnétiques (biophotons).

Cette théorie a été soutenue par le Dr Veljkovic qui dirige maintenant le Centre de recherche multidisciplinaire et d'ingénierie, Institut des sciences nucléaires de Vinca <https://www.vin.bg.ac.rs/>.

**La question fondamentale qui a toujours intrigué les biologistes cellulaires: qu'est-ce qui a permis aux dizaines de milliers de types différents de molécules dans l'organisme de reconnaître leurs cibles spécifiques?**

Il ressort des études menées par [F.A. Popp](#), que toute alimentation digne de ce nom doit comprendre une partie « vivante » importante, c'est-à-dire un milieu dans lequel des photons sont encore « stockés » et donc transférables à l'organisme récepteur.

Les organismes vivants sont des systèmes « ouverts » au sens thermodynamique. Ils ne puisent pas seulement dans leur environnement les matériaux chimiques nécessaires à leur métabolisme, mais également des informations destinées à entretenir leur fonctionnement. Ceci nous indique l'importance, en matière de santé, des moyens de conservation utilisés pour des aliments frais. Il va de soi, nous indique F.A. Popp, que des légumes ou des fruits stabilisés par irradiations gamma (ionisés) perdent la quasi totalité de leur potentiel nutritif puisque les cellules qui les composent sont tuées par l'irradiation (évasion des photons des structures cellulaires). De même les fruits et légumes stérilisés présentent le même inconvénient majeur. L'organisme, en mangeant des fruits et légumes frais, consomme aussi de la lumière sous forme de photons. « Nous sommes tous des dévoreurs de lumière », nous dit Popp.

Par conséquent, les méthodes pour l'analyse de la qualité des aliments doivent être basées sur des mesures de biophotons. Il y a beaucoup à apprendre sur la capacité d'une substance à stocker la lumière.

Popp a découvert que les cellules de notre organisme communiquent probablement avec la lumière (→ [transmission de données optiques](#)), confirmant davantage l'idée que les biophotons véhiculent de l'ordre et des informations, et expliquant enfin l'ordre des organismes vivants. Il voit la nature à large bande des biophotons (couvrant une gamme de longueurs d'onde de centaines de nanomètres) comme le soutenant, affirmant que seule cette nature à large bande permet de concentrer cette lumière sur de petites choses, agissant comme une [diode laser à largeur de ligne étroite](#).

**Nous pouvons dire que les biophotons agissent tels des lasers afin d'organiser la matière à travers d'informations spécifiques.**

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 3](#) en fin de ce document). <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/1559> Biophoton Measurement as a Supplement to the Conventional Consideration of Food Quality.

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) que nous utilisons chez **ENERLAB** permettent de mesurer différents attributs de la qualité des aliments sans affecter la structure physique et leur qualité biochimique.

Comme indiqué ci-dessus, l'émission de biophotons provient de la relaxation d'espèces excitées électroniquement résultant de processus métaboliques oxydatifs et du stress oxydatif associé aux espèces réactives de l'oxygène.

Le présent article est consacré à donner un aperçu de la qualité des produits alimentaires à l'aide de l'analyse « biophotonique » en évaluant les corrélations entre les biophotons et les indices de qualité des aliments.

La formation de ROS dans l'industrie alimentaire et agricole doit être surveillée car elle est fortement liée à la santé publique et peut entraîner un fardeau économique au niveau mondial. La production de ROS peut être associée à la surveillance de la réponse des plantes aux agents pathogènes, au stress de la sécheresse, au stress des inondations, au stress salin et aux herbicides parmi les produits agricoles.

Actuellement, l'évaluation par l'analyse des biophotons en tant qu'outil robuste, en temps réel, peu coûteux, **non destructif et non invasif** pour surveiller les réactions oxydatives dans plusieurs domaines scientifiques, tels que les produits médicaux, pharmaceutiques, biologiques, environnementaux, agricoles et alimentaires, suscite un grand intérêt. Une corrélation entre les biophotons et les indices de qualité des aliments est proposée dans de quelques centaines d'études ([Gałazka-Czarnecka et al., 2019](#) ; [Sun et al., 2019...](#)). Par conséquent, l'UPE en tant qu'outil de diagnostic pour surveiller les processus agricoles peut être envisagé pour des développements plus poussés ([Cifra et Pospíšil, 2014](#) ; [Guo et al., 2017](#) ; [Inagaki et al., 2008](#) ; [Moraes et al., 2012](#) ; [Prasad et Pospíšil, 2011](#)).

En raison de la croissance rapide de la population mondiale, la sécurité, la salubrité et la qualité des aliments sont des questions importantes qui doivent être considérées comme de sérieux défis ([Cheeseman, 2016](#) ; [Godfray et al., 2010](#) ; [McCarthy et al., 2018](#) ; [Prosekov et Ivanova, 2018](#)). Les méthodes destructives sont largement utilisées pour évaluer la qualité des aliments, mais elles demandent généralement plus de main-d'œuvre et de temps, ce qui peut endommager le matériau. En revanche, les méthodes non destructives permettent de mesurer différents attributs de qualité des aliments sans affecter la structure physique et la qualité. Par conséquent, l'utilisation de méthodes non destructives a attiré de nombreux chercheurs ([El-Mesery et al., 2019](#) ; [Magwaza et al., 2013](#)).

Des techniques non destructives traditionnelles, telles que la vision artificielle, l'imagerie hyperspectrale, 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.

Actuellement, l'application de la détection de biophotons à la qualité des aliments est un sujet d'actualité et des recherches sont toujours en cours concernant la mesure des indices de qualité des aliments.

**Une alimentation de qualité ne se traduit pas seulement par un apport d'énergie via des réactions chimiques, mais également par la capacité des aliments à créer des oscillations sous forme de biophotons qui diminuent l'entropie de l'organisme.**

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, ([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 biophotons 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 biophotons 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 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, 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.

**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 biophotons traduit dans certaines conditions une amélioration de la qualité des plantes, de la croissance d'un organisme, telle que le montre notre étude sur les graines, ou de produits alimentaires.**

**Chen et Al 2002** 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 biophotons.

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 (1999) (M. Lenzenweger a mené cette enquête à l'Institut atomique de l'Université technique de Vienne, avec l'aide du Prof. Dr. H. Klima)
- Analyse chimique des principaux composants (1998 et 1999). Au cours des 2 premières années, les carottes ont été analysées en 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 Egerer, 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.

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 ( ).

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.

#### **4. Biophotons et tomates**

La grande popularité de la tomate est principalement liée au fait qu'elle peut être consommée sous de multiples formes fraîches ou transformées, étant le deuxième légume le plus important au monde. En 2019, la production mondiale de tomates était d'environ 197 millions de tonnes, dont 75 % pour le marché du frais et 25 % pour la transformation.

Pendant longtemps, les programmes de sélection de tomates se sont concentrés sur le rendement des cultures, la forme des fruits et la durée de conservation.

Cependant, au cours des 30 dernières années, les sélectionneurs de tomates ont visé le développement de tomates de haute qualité pour répondre aux demandes des clients en fruits frais avec un bon aspect visuel, des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles plus élevées. Par conséquent, pour garantir la qualité interne du fruit, il faut prendre en compte son acidité titrable, ses matières solides solubles, ses sucres, ses acides organiques et sa teneur en lycopène et plus récemment son niveau de biophotons, comme cela est démontré dans de nombreuses études.

Les techniques conventionnelles utilisées pour déterminer ces paramètres de qualité sont laborieuses et chronophages, déterminent un seul paramètre, et certaines d'entre elles nécessitent l'utilisation de réactifs toxiques et de personnel formé pour effectuer la mesure.

Les méthodes non invasives basées sur des principes physiques, associées à une analyse multivariée, ont montré la possibilité de mesurer plusieurs paramètres en une seule mesure. La plupart de ces méthodes sont basées sur des spectroscopies vibrationnelles/rotationnelles (infrarouge), électroniques (ultraviolet (UV)-visible), par résonance magnétique nucléaire, par détection via des caméras CCD et par des luminomètres équipés de tubes photomultiplicateurs (PMT).

Des études ont été réalisées par R. [Malekfar et al. en 2010](#) pour l'évaluation de la qualité du jus de tomate par spectroscopie Raman et également par J. [Trebolazabala en 2017](#) pour un suivi in situ de la maturation des fruits de tomate par Spectroscopie Raman. De nombreuses études ont été réalisées depuis 2017 impliquant ce type de technologies [32-33].

Précurseur dans l'analyse de la qualité alimentaire via la détection de biophotons, l'équipe du professeur F.A Popp ont découvert qu'il était possible de distinguer les tomates biologiques des tomates cultivées de manière conventionnelle.

#### **5. L'importance de l'eau dans les cultures**

En France, l'eau du robinet est en principe l'un des aliments les plus surveillés et contrôlés. Elle fait l'objet d'un suivi sanitaire permanent, destiné à en garantir la sécurité sanitaire et définit par [l'article L. 1321-4](#) exercé par l'agence régionale de santé.

L'eau est un intrant essentiel pour la production agricole et joue un rôle important dans la sécurité alimentaire. L'agriculture irriguée représente 20 pour cent du total des terres cultivées et contribue à 40 pour cent de la nourriture totale produite dans le monde. L'agriculture irriguée est, en moyenne, au moins deux fois plus productive par unité de terre que l'agriculture pluviale, permettant ainsi une intensification de la production et une diversification des cultures.

Selon l'étude de la banque mondiale : <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/water-in-agriculture>, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et des aléas climatiques, la concurrence pour les ressources en eau devrait augmenter, avec un impact particulier sur l'agriculture. La population devrait augmenter pour atteindre plus de 10 milliards d'ici 2050, et qu'elle soit urbaine ou rurale, cette population aura besoin de nourriture et donc d'eau pour répondre à ses besoins de base.

Combiné à la consommation accrue de calories et d'aliments plus complexes, qui accompagne la croissance des revenus dans le monde en développement, on estime que la production agricole devra augmenter d'environ 70 % d'ici 2050. **Cependant, la demande future en eau de tous les secteurs nécessitera la réaffectation de 25 à 40 % de l'eau des activités à productivité et emploi plus faibles vers des activités à plus forte productivité, en particulier dans les régions en situation de stress hydrique.**

Dans la plupart des cas, cette réaffectation devrait provenir de l'agriculture en raison de sa part élevée d'utilisation de l'eau. Actuellement, l'agriculture représente (en moyenne) 70 % de tous les prélèvements d'eau douce dans le monde (et une part encore plus élevée de la « consommation d'eau » en raison de l'évapotranspiration des cultures).

Le mouvement de l'eau devra être à la fois physique et virtuel. Le mouvement physique de l'eau peut se produire par des changements dans les allocations initiales des ressources en eau de surface et souterraines, principalement des utilisateurs agricoles aux utilisateurs urbains, environnementaux et industriels. L'eau peut également se déplacer virtuellement car la production de nourriture, de biens et de services à forte intensité d'eau est concentrée dans les localités abondantes en eau et est échangée vers les localités pauvres en eau.

Cependant, les défis à l'amélioration de la qualité de l'eau demeurent. Certains d'entre eux sont dus à des rejets continus de polluants provenant de sources ponctuelles. Une part croissante des problèmes restants est due à la pollution diffuse, qui est la pollution associée au ruissellement des terres urbaines et agricoles.

**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 qu'au moins douze millions de Français ont reçu de manière épisodique, de l'eau non conforme aux critères de qualité.**

**En cause : la présence de pesticides** (1,4-dioxane, un solvant classé comme cancérigène possible pour l'humain, utilisé dans l'industrie depuis 1950, le glyphosate\* de nouveau autorisé malgré les risques sur la santé : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5874776/> 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.

**Nos mesures réalisées sur l'eau font apparaître une émission de biophotons plus ou moins importante en fonction de divers facteurs environnementaux. Les eaux non polluées, dynamisées et les eaux de source émettent d'avantages de biophotons que des eaux polluées, trafiquées, mal canalisées...**

\*Le constat n'est pas nouveau, mais à nouveau confirmé : les eaux de surface européennes sont largement contaminées par le glyphosate ou la substance issue de sa dégradation (son métabolite), l'AMPA. [Un rapport](#) publié ce mardi 5 septembre par l'ONG Pesticide action network (PAN Europe) et le groupe des Verts au parlement européen vient le rappeler.

## **6. Les facteurs influençant les caractéristiques biophotoniques d'un aliment**

### **L'ionisation / l'irradiation des aliments**

Si de très nombreuses études gouvernementales tentent de rassurer le grand public sur la non dangerosité de l'irradiation des aliments, des scientifiques hautement qualifiés donnent des avis opposés.

L'irradiation des aliments est promue par certains organismes internationaux et groupes industriels comme réponse au problème croissant des intoxications alimentaires et comme moyen de lutter contre la faim dans le monde en réduisant la détérioration et en prolongeant la durée de conservation des aliments.

Une proposition visant à assouplir les normes mondiales régissant l'irradiation des aliments, notamment en supprimant la limite maximale actuelle de dose d'irradiation, est actuellement en discussion.

La Commission européenne réfléchit également à l'opportunité d'étendre la liste des aliments dont l'irradiation est autorisée dans tous les États membres de l'UE.

La liste actuelle ne comprend que les herbes, les épices et les assaisonnements végétaux, mais une éventuelle extension signifierait que de nombreux autres aliments pourraient être irradiés dans tous les États membres. Pourtant, les consommateurs s'inquiètent toujours des nombreux impacts négatifs potentiels de l'irradiation des aliments.

## Risques pour la santé

- L'irradiation des aliments peut entraîner une [perte de nutriments](#), par exemple les niveaux de vitamine E peuvent être réduits de 25 % après l'irradiation et ceux de vitamine C de 5 à 10 %.  
À cela s'ajoutent les durées de conservation plus longues des aliments irradiés et la perte de nutriments pendant la cuisson, ce qui peut faire en sorte que l'aliment finalement consommé par le consommateur ne contienne guère plus que des « calories vides ». Cela est potentiellement préjudiciable à la santé à long et à court terme des consommateurs, en particulier pour les couches de la société qui ne parviennent déjà pas à obtenir une alimentation adéquate.
- Lorsque les aliments sont exposés à de fortes doses de rayonnements ionisants, leur composition chimique et leur contenu nutritionnel peuvent changer. Des sous-produits radiolytiques se forment souvent dans les aliments irradiés. Très peu de ces produits chimiques ont été suffisamment étudiés quant à leur toxicité. L'un de ces produits chimiques, le 2-DCB, peut endommager l'ADN des cellules du côlon du rat à des doses élevées.
- L'irradiation des aliments n'inactive pas les toxines dangereuses déjà produites par les bactéries avant l'irradiation. Dans certains cas, comme *C. botulinum*, c'est la toxine produite par la bactérie, plutôt que la bactérie elle-même, qui présente un risque pour la santé.
- L'extension de la liste européenne des aliments autorisés à être irradiés pourrait signifier qu'à l'avenir, une partie importante de l'alimentation des consommateurs sera constituée d'aliments irradiés. Les impacts à long terme de cette situation sur la santé restent inconnus. Des recherches bien plus approfondies sont nécessaires avant d'exposer les populations à un tel régime.
- L'irradiation de produits tels que la viande de poulet, les abats et le blanc d'œuf récupérés mécaniquement pourrait induire les consommateurs en erreur en leur faisant croire qu'ils sont plus sûrs. Il existe donc un risque que les consommateurs ne prennent pas les mesures nécessaires pour prévenir la contamination croisée. Le risque de recontamination des aliments après irradiation est très sérieux, car un aliment quasi stérile constitue un milieu idéal pour une croissance très rapide de bactéries réintroduites. Les aliments irradiés doivent donc être manipulés avec encore plus de précautions dans les foyers et les restaurants.
- L'irradiation peut provoquer des mutations chez les bactéries et les virus, conduisant à des souches potentiellement résistantes.

## Consommateurs trompeurs

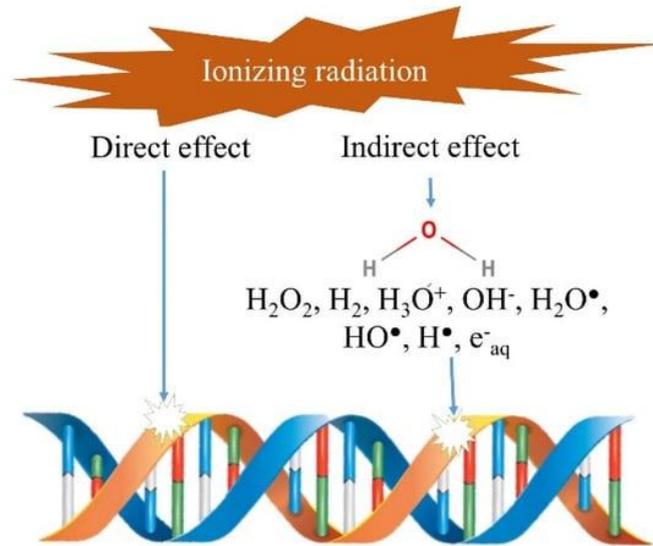
- L'irradiation des fruits et légumes pour prolonger leur durée de conservation peut induire les consommateurs en erreur en donnant aux « vieux » aliments un aspect « frais ». Plus les fruits et légumes sont âgés, plus leur valeur nutritionnelle est faible, sans parler des effets du vieillissement sur leurs goûts et leurs saveurs.
- Les consommateurs peuvent être dangereusement induits en erreur, car l'irradiation tue également inévitablement les bactéries qui produisent des odeurs d'avertissement indiquant que l'aliment « se détériore ».
- L'irradiation de certains produits, tels que les fruits secs et les flocons ou germes de céréales, souvent considérés comme des aliments santé (par exemple le muesli), pourrait conduire à ce qu'ils soient perçus à tort par les consommateurs comme des aliments intrinsèquement contaminés.  
retour au sommet

## Utilisation abusive de la technologie

- L'irradiation des aliments peut être utilisée et a été utilisée pour masquer les mauvaises pratiques d'hygiène dans la production alimentaire. Grâce à l'irradiation, la contamination peut être stérilisée. Cela réduit l'incitation à nettoyer les opérations de transformation alimentaire bâclées - l'industrie dispose d'une « solution miracle » comme alternative à la résolution des sources du problème. Le consommateur a le droit d'attendre des aliments propres, mais l'irradiation peut conduire à une production accrue d'aliments contaminés par de la saleté - de la saleté « propre ».
- L'irradiation peut être utilisée pour maintenir, voire aggraver les mauvaises normes d'élevage. Le surpeuplement des animaux pendant l'élevage et avant l'abattage, ainsi que l'utilisation d'aliments bon marché mais inappropriés, contribuent tous à la contamination des produits animaux tels que la viande, la volaille et les œufs. Le nettoyage de ces produits à la fin de la chaîne de production supprime toute incitation à améliorer le bien-être animal.
- Des violations de la législation en vigueur en matière d'étiquetage ont eu lieu dans des pays européens, avec la vente d'aliments irradiés non étiquetés. Cela a été récemment découvert par une enquête de détection du gouvernement britannique qui a révélé que près de la moitié des compléments alimentaires échantillonnés étaient illégalement irradiés et non étiquetés (voir communiqués de presse). Dans ces circonstances, le droit des consommateurs à choisir est bafoué. L'assouplissement des normes d'irradiation pourrait aggraver cette situation.
- S'ils réussissent, les efforts en cours aux États-Unis pour remplacer le terme « irradiation » sur les étiquettes des aliments irradiés par des termes tels que « pasteurisation à froid » pourraient semer la confusion et induire les consommateurs en erreur.

Les rayonnements ionisants peuvent éliminer les électrons liés d'une structure atomique ou moléculaire, laissant la structure se charger électriquement ou s'ioniser. Lorsque ces rayonnements sont bombardés sur des cellules vivantes à des doses spécifiques, ils peuvent dénaturer les composants cellulaires, soit par destruction directe de l'acide nucléique, soit en brisant les molécules d'eau et en générant des espèces réactives de l'oxygène et des radicaux libres qui peuvent ensuite endommager les composants cellulaires (**Figure 1**). Voir [étude](#)

**Figure 1**



Présentation schématisée de l'effet des rayonnements ionisants sur l'acide nucléique. Dans la partie gauche, les radiations brisent directement la liaison entre les paires de bases du matériel génétique (ADN ou ARN), provoquant la mort reproductive des cellules. Dans la partie droite, les dommages indirects à l'ADN (et à d'autres composants cellulaires) sont causés par les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène générés par la rupture des molécules d'eau.

**Conclusions :**

Des [études](#) mettent en évidence le fait que l'irradiation pourrait créer des composants toxiques, cytotoxiques (= qui entraînent l'altération des cellules) et mutagène pour l'humain.

Nous pouvons citer en particulier les travaux du Professeur **Eric Marchioni** de l'Université de Strasbourg, Directeur d'un Laboratoire de Chimie Analytique dans son étude publiée en 2002 : « Etude toxicologique destinée à évaluer le risque encouru lors de la consommation d'aliments gras ionisés », mais également d'autres études menées lors de [l'audition du congrès Américain](#) sur l'irradiation des aliments.

L'Autorité européenne de sécurité des aliments s'interroge sur des atteintes neurologiques détectés chez des chats qui ont été exclusivement nourris avec des aliments irradiés (mais il faut savoir que la réglementation autorise une dose jusqu'à 5 fois supérieure à ce qui est réglementé pour un humain).

**Dans ses études, ENERLAB a constaté que les aliments qui ont été exposés à la radioactivité ou à l'ionisation (irradiation) ne présentent plus aucunes caractéristiques lumineuses « naturelles », et les produits congelés émettent une lumière plus faible et moins régulière que les produits frais.**

**🚩 Baisse de la qualité du produit entre le temps de récolte et sa consommation :**

Howard et al. (1999) ont rapporté que la concentration d'acide ascorbique diminuait pendant le stockage dans les légumes qu'ils examinaient (brocoli, carottes et haricots verts), mais le taux et le schéma de déclin dépendaient des types de légumes. Par exemple, la concentration d'acide ascorbique dans les haricots verts frais a été réduite rapidement, plus de 70 % disparaissant après 1 semaine de stockage. De même, Wu et al. (1992) ont signalé une perte de 58 % d'acide ascorbique dans les haricots verts après 3 jours de stockage. Howard et al.

<https://www.linkedin.com/pulse/veggies-lose-nutrients-after-getting-harvested-costs-instant-kumar/>  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4348295/>

La plupart des produits perdent 30 % de nutriments trois jours après la récolte. Des études de l'Université de Californie montrent que les légumes peuvent perdre 15 à 55 % de vitamine C en une semaine. Les épinards peuvent perdre 90% dans les 48 premières heures après la récolte.

Pour information, beaucoup de légumes achetés dans le commerce passent 5 jours en transit avant d'arriver dans un centre de distribution, et 3 jours supplémentaires sur une étagère avant d'être achetés par le consommateur, qui peut les conserver plusieurs jours avant consommation.

Les légumes doivent être donc consommés dans les heures qui suivent la récolte, maximum 12 à 24 heures. De nombreux facteurs avant et après récolte influencent la teneur en vitamine C des cultures horticoles. Les grandes variations génétiques de la teneur en vitamines ont été examinées par Stevens (1974) et Harris (1975).

D'autres facteurs pré-récolte comprennent les conditions climatiques et les pratiques culturales ([Somers et Beeson, 1948](#), [Mozafar, 1994](#)) :

- Les facteurs suivants sont responsables de la grande variation de la teneur en vitamine des fruits et légumes à la récolte :
- La maturité à la récolte
- la méthode de récolte
- les conditions de manipulation post-récolte ([Kader, 1988](#))

Les méthodes de transformation et les procédures de cuisson peuvent entraîner des pertes importantes de vitamine C (Fennema, 1977). Malgré de nombreuses recherches dans le domaine de la nutrition, les connaissances sur les changements avant et après récolte de la teneur en vitamine C des fruits et légumes sont insuffisantes.

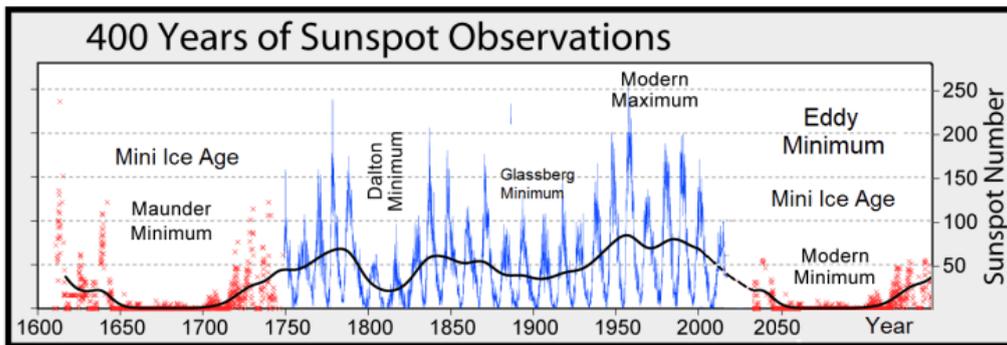
### ✚ La baisse du champ géomagnétique terrestre :

Depuis le début du XIXe siècle, le champ magnétique de la Terre a [perdu environ 9 %](#) de son intensité et continue de s'affaiblir de manière exponentielle.

Son énergie mesurée est inférieure de 14% depuis 200 ans.

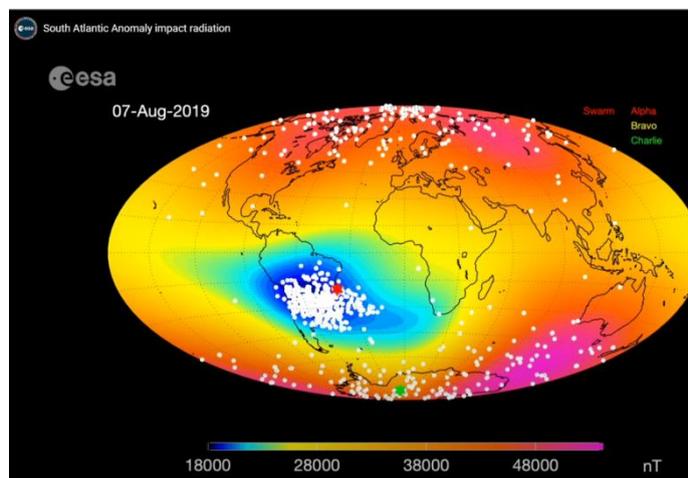
Le soleil de son côté connaît la baisse de ses éruptions la plus importante depuis 11 ans (pic de la baisse en décembre 2019).

Les 2 phénomènes sont bien entendu liés, le soleil ne fournissant plus la masse particulaire habituelle à la terre. La conséquence de l'activité solaire impact la Terre et entraîne une modification de l'activité géomagnétique.

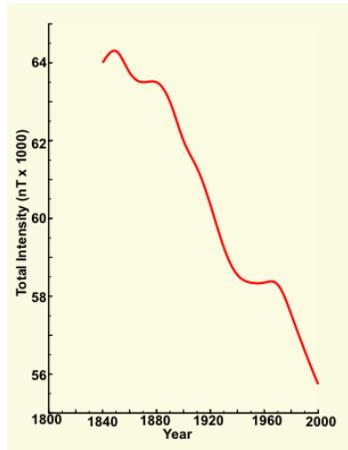


400 ans d'observation de l'activité solaire (source : <https://www.meteocontact.fr/actualite/le-prochain-cycle-solaire-sera-au-plus-bas-depuis-200-ans-selon-la-nasa-60826>)

et : [https://sunearthday.nasa.gov/2007/locations/ttt\\_atob.php](https://sunearthday.nasa.gov/2007/locations/ttt_atob.php)



Points d'impact affaiblissant le champ géomagnétique terrestre (source : Agence spatiale Européenne)



### Niveau d'intensité du champ magnétique terrestre depuis le début du XIXe siècle

L'espèce humaine se trouve sous l'influence d'un ensemble de phénomènes magnétiques et plus directement sous celle du champ magnétique terrestre.

Il paraît alors logique que son altération provoque d'importants troubles dans les organismes vivants y compris chez les humains. Des particules fondamentales à la vie (neutrinos, photons principalement) arrivent sur terre en quantité beaucoup moins importantes depuis plusieurs années.

Cette baisse de « courant » ne permet plus aux végétaux d'avoir un développement constant/intense, stimulé habituellement par l'apport de particules électromagnétiques d'une certaine intensité.

Notre terre est baignée de phénomènes électriques, magnétiques et électromagnétiques. Une des caractéristiques du développement de la vie est liée à ces phénomènes électriques.

Il a été [démonstré](#) que ces courants sont extrêmement importants pour une bonne croissance et développement des plantes. Une perturbation dans ces courants peut amener une diminution des récoltes et un manque de croissance des plantes, au contraire une régulation astucieuse de ces courants améliore sensiblement les cultures.

En 2020, une étude parut dans [Nature](#) sur les « **Changements géomagnétiques Terrestre** » évoque les variations extrêmes de la direction du champ magnétique terrestre actuelle.

Le champ géomagnétique se [dégrade](#) à un rythme de 5% par siècle depuis au moins 1840, avec des observations indirectes suggérant un déclin depuis 1600 ou même avant. Cela a conduit à l'affirmation que le champ géomagnétique pourrait subir une inversion ou une excursion.

L'impact des changements du champ géomagnétique sur les organismes vivants reste l'objet d'études à travers le monde.

La Terre est l'une des planètes intérieures du système solaire, mais contrairement aux autres elle a une atmosphère oxydante, une température relativement stable et un champ géomagnétique constant (**GMF = Geo Magnetic Field**).

Le GMF protège non seulement la vie sur Terre contre le vent solaire et les rayons cosmiques, mais il protège également l'atmosphère elle-même, créant ainsi des conditions environnementales relativement stables. De plus, le GMF pourrait avoir influencé les origines de la vie : des organismes allant des archées (Micro-organisme procaryote dont les caractères biochimiques sont très différents de ceux des bactéries) aux plantes et aux animaux ont peut-être utilisé le GMF comme source de développement.

L'exposition des plantes à des champs magnétiques faibles (MF) de différentes intensités et à des moments différents est de plus en plus [étudiée](#) pour améliorer durablement la croissance des plantes dans les applications végétales telles que l'agriculture moderne, la phytoremédiation et la production de biogaz.

Cependant, on sait peu de choses sur les effets de l'exposition aux MF sur la composition chimique des plantes et, par conséquent, sur les processus écosystémiques connexes, tels que le transfert d'éléments potentiellement toxiques le long des chaînes alimentaires et la décomposition de la matière organique.

Le champ géomagnétique (GMF) est une composante naturelle de notre environnement. Les plantes, qui sont connues pour détecter différentes longueurs d'onde de lumière, réagissent à la gravité, réagissent au toucher et aux signaux électriques, et ne peuvent pas échapper à l'effet du GMF.

La synthèse des études actuelles fait apparaître que des champ magnétiques élevés favorise le développement des plantes.

[Révéler les relations entre MF et les réponses des plantes](#) devient de plus en plus important car de nouvelles preuves révèlent la capacité des plantes à percevoir et à répondre rapidement aux variations de MF en modifiant leur expression génique et leur phénotype.

Les bactéries magnétotactiques sont un groupe diversifié de micro-organismes capables de s'orienter et de migrer le long des lignes GMF ( [Yan et al., 2012](#) ); le compas magnétique aviaire a été bien caractérisé dans des tests comportementaux ( [Ritz et al., 2009](#) ); l'alignement magnétique, qui constitue la réponse directionnelle la plus simple au GMF, a été démontré chez divers animaux, notamment des insectes, des amphibiens, des poissons et des mammifères ( [Begall et al., 2013](#) ).

## **7. Objectifs : mesurer le niveau d'émission des biophotons des tomates issues de production conventionnelles et Biologiques**

Ces mesures permettent de :

- mesurer le niveau d'émission/d'intensité des biophotons contenus dans chaque tomate
- déterminer le niveau énergétique de chacune de ces tomates
- corrélérer les résultats des différents tests avec les outils de mesure utilisés.

## **8. Matériel de mesures**

Afin d'être le plus exhaustif possible dans les mesures à effectuer, plusieurs outils de haute technologie ont été choisis pour croiser les résultats afin de vérifier la cohérence des mesures.

Aucun réactif n'a été utilisé dans les échantillons mesurés de sorte que seule l'autoluminescence naturelle de chaque produit a été détectée.

Un luminomètre de haute sensibilité à tube photomultiplicateur (PMT) et une caméra CCD haute définition ont été choisis pour cette étude.

### **6.1 - Le luminomètre (figure 1)**

Il est important de préciser que les systèmes optiques 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.

Un luminomètre est un appareil utilisé principalement en biologie moléculaire pour mesurer l'intensité lumineuse. Il est notamment utilisé pour l'étude des réactions de bioluminescence ainsi que pour la technique d'ATPmétrie.

La lumière peut être quantifiée et son intensité peut être exprimée en nombre de photons. 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) ;
- 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. **La valeur RLU indique la quantité de photons émis par seconde, par cm<sup>2</sup>.**

Un luminomètre de chez Berthold, modèle 9508 (**Figure 1**) à 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 en mode comptage de photons uniques 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

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.



**Figure 1: Luminomètre Berthold Lumat 9508**



**Tomate N°7 conventionnelle Maroc devant Luminomètre Berthold Lumat 9508**



**Tomate N°9**



**Tomate N°10**



Tomate N°11



Tomate N°12



Tomate N°13



Tomate N°14



Tomate N°15



Tomate N°16



Tomate N°17



Tomate N°18

## 6.2. La caméra CCD (Figure 2)

L'émission de photons ultra-faibles a été mesurée en utilisant une caméra CCD hautement sensible (VersArray 1300B, Princeton Instruments). Cette version est une caméra haute performance, plein format, refroidie par cryogénie, de qualité scientifique. Elle a été configurée avec un objectif et une configuration de miroir pour diriger le photon vers l'objectif.



Figure 2 : VersArray 1300B de chez Princeton Instruments (USA)

Le système global ENERLAB™ permet l'imagerie de l'émission de photons (jusqu'à quelques photons s<sup>-1</sup>) du système biologique. Le comportement cinétique et l'analyse spectrale de l'émission de photons ont été mesurés à l'aide d'un PMT équipé d'un système de filtre PMT (9558QB ; ET Enterprises Ltd., Uxbridge, Royaume-Uni). Il a été refroidi à -28 °C avec un boîtier thermoélectrique refroidi à l'eau (LCT50) pour réduire le niveau d'obscurité. Le signal d'émission de photons a été traité par l'unité de comptage de photons, MCS-CT3.

Il s'agit d'une caméra capable d'enregistrer des images, et donc de la lumière, de manière électrique dans le spectre 200-1000nm (Figure 3). Son « capteur », comme une rétine, est constitué d'une mosaïque de cellules photoélectriques, appelées « pixels » (= points sensibles). La taille des pixels est de quelques microns. Chaque pixel stocke la lumière sous forme d'électrons.

La "charge" reçue est alors transférée à l'extrémité de la ligne du capteur, puis à l'ordinateur, qui pourra après avoir compté le nombre d'électrons reconstituer l'image globale sur l'écran au moyen d'un "traitement numérique".

Une caméra CCD est donc un œil artificiel, très sensible, 10 000 fois plus qu'une plaque photo ordinaire.

La caméra CCD utilisée par ENERLAB™ est capable de traduire le niveau d'électrons contenu dans l'échantillon mesuré en une valeur énergétique, exprimée en **Unité Camera (UC)**. 1 UC équivaut à 10<sup>-16</sup> à 10<sup>-18</sup> W/cm<sup>2</sup>. L'unité de mesure est donc le W/cm<sup>2</sup>

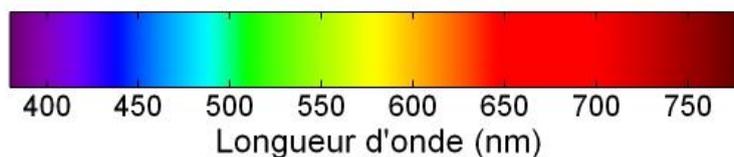


Figure 3 : longueur d'onde de la détection des biophotons

## 9. Méthodes

### 7.1- Méthodes de mesure du 12-09-2023 avec le luminomètre

Les manipulations ont été effectuées dans une salle du laboratoire avec le niveau de luminosité le plus faible possible. Les tomates ont été placées dès leur réception dans une cave à réfrigérée LIEBHERR, jusqu'à leurs mesures. La température a été réglée sur 12°C, Il est primordial que cette température soit stable afin d'avoir des mesures comparatives précises et cohérentes. Une partie des tomates ont été découpées, puis placées dans un tube à essai de 3,5 ml pour être mesurées.

Chaque tube à essai a été mesuré au préalable sous vide afin de déterminer son bruit de fond et de le déduire de la mesure finale, puis une deuxième mesure a été réalisée produit par produit.

### 7.2- Méthodes de mesure du 12-09-2023 avec la caméra CCD (schéma 1)

Les manipulations ont été effectuées dans une salle du laboratoire avec le niveau de luminosité le plus faible possible. Les tomates ont été placées dès leur réception dans une cave à réfrigérée LIEBHERR, jusqu'à leurs mesures. La température a été réglée sur 12°C, Il est primordial que cette température soit stable afin d'avoir des mesures comparatives précises et cohérentes. Une partie des tomates ont été découpées, puis placées dans un tube à essai de 3,5 ml pour être mesurées. Chaque boîte à pétri a été mesuré au préalable sous vide afin de déterminer son bruit de fond et de le déduire de la mesure finale, puis une deuxième mesure a été réalisée produit par produit.

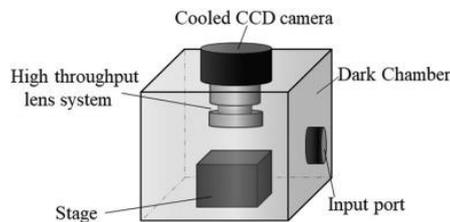


Schéma 1 de montage du dispositif de la caméra CCD

## 10. Résultats

### 8.1- Avec le luminomètre (Tableau 1, 2 et 5)

Le luminomètre permet d'avoir une représentation du niveau d'émission de lumière des biophotons (**quantités de biophotons émis / seconde / cm<sup>2</sup>**) contenus dans les tomates.

L'échelle de valeur est la suivante :

- < 50 : aucune émission RLU
- > 50 < 100 : faible valeur RLU
- Entre 100 et 150 : valeur RLU moyenne
- Entre 150 et 200 : haute valeur RLU
- > 200 : très haute valeur RLU

Les résultats font apparaître une grande quantité de biophotons dans les tomates de 1 à 4 issues de l'électroculture (> 200 : très haute valeur RLU). La mesure des échantillons 5 et 6 en culture conventionnelle indiquent des résultats très inférieurs (> 50 < 100 : faible valeur RLU). La mesure des échantillons 7 et 8 en culture conventionnelle d'origine Maroc et Espagne indiquent des résultats très inférieurs (< 50 : aucune émission RLU) ou aucune détection de biophotons n'a pu être enregistrée. La tomate N°9 montre des valeurs élevées, contrairement aux tomates du N°10 à 18 ou les valeurs ne sont pas nulles mais faibles. Il faut signaler des valeurs nulles sur la peau des tomates des N°13 à 18 (Présence de pesticides, eau contaminée... ?).

La mesure de la terre en électroculture donne des résultats supérieurs de 33.55 % par rapport à la terre en conventionnelle.

### 8.2- Avec la caméra CCD (Tableau 3, 4 et 5)

**Mesure de la valeur énergétique** : c'est le nombre de pixels de l'image dont la luminosité dépasse la valeur seuil, exprimé en **W/cm<sup>2</sup>**. Plus la surface de rayonnement est importante, plus le champ d'énergie biologique de l'organisme mesuré est important, et donc plus son capital énergétique est grand. La caméra CCD permet d'avoir une représentation de la valeur énergétique des biophotons contenus dans les tomates.

L'échelle de valeur est la suivante :

- < 1000 : aucune détection énergétique
- > 1000 < 6000 : faible valeur énergétique
- Entre 6000 et 8000 : valeur énergétique moyenne
- Entre 8000 et 10000 : haute valeur énergétique
- >10000 : très haute valeur énergétique

Les résultats font apparaitre de très hautes valeurs énergétiques dans les tomates mesurées en électroculture, échantillons de 1 à 4 (>10000 : très haute valeur énergétique).

La mesure des échantillons 5 et 6 en culture conventionnelle indiquent des résultats très inférieurs (< 6000 : faible valeur énergétique). La mesure des échantillons 7 et 8 en culture conventionnelle d'origine Maroc et Espagne indique des résultats très inférieurs < 1000 : aucune détection énergétique n'a pu être détectée. Les valeurs des tomates N°11 à 16 sont très faibles, et nulles pour la peau des tomates N°13 à 18.

La mesure de la terre en électroculture donne des résultats énergétique supérieurs de **8.04 %** par rapport à la terre en conventionnelle.

**Tableaux des mesures 1 et 2 :**

Mesures avec le luminomètre BERTHOLD LB 9508				
Date des mesures : 12.09.2023				
Type de produit		Valeur RLU Endocarpe (pulpe avec graines)	Valeur RLU Mesocarpe (chair)	Valeur RLU Epicarpe (peau)
Mesure de la chambre noire		26	23	28
Mesure du tube à vide		32	34	31
Plantonic	Tomate N°1 en électroculture	302	296	275
Plantonic	Tomate N°2 en électroculture	251	249	228
Plantonic	Tomate N°3 en électroculture	216	209	199
Plantonic	Tomate N°4 en électroculture	215	206	197
Plantonic	Tomate N°5 en conventionnelle	98	89	83
Plantonic	Tomate N°6 en conventionnelle	77	75	65
Plantonic	Tomate N°7 en conventionnelle, grande surface, origine Maroc	34	35	34
Plantonic	Tomate N°8 en conventionnelle, grande surface, origine Espagne	52	38	35

Mesures avec le luminomètre BERTHOLD LB 9508				
Date des mesures : 03.10.2023				
Type de produit		Valeur RLU Endocarpe (pulpe avec graines)	Valeur RLU Mesocarpe (chair)	Valeur RLU Epicarpe (peau)
Mesure de la chambre noire		26	23	28
Mesure du tube à vide		32	34	31
Ferme des Grenouilles	Tomate N°9 maraîcher local Bio La ferme des Grenouilles à Villeneuve Loubet (06)	175	157	151
Producteur Local Carros	Tomate N°10 maraîcher local conventionnelle à Carros (06)	100	98	84
Carrefour	Tomate N°11 Bio Carrefour origine France	89	86	81
Biocop Nice	Tomate N°12 Bio Biocoop origine Var	71	65	60
Carrefour	Tomate N°13 conventionnelle Carrefour, origine France	68	63	35
Intermarché	Tomate N°14 Intermarché conventionnelle origine Espagne	62	57	31
Monoprix	Tomate N°15 conventionnelle conventionnelle Monoprix, origine France	51	50	29
Epicier Nice	Tomate N°16 conventionnelle, Epicier Nice, origine Maroc	62	60	37
Grand Frais	Tomate N°17 conventionnelle Grand Frais, origine France	63	58	27
Lidl	Tomate N°18 conventionnelle Lidl, origine France	52	50	31

**Tableaux des mesures 3 et 4 :**

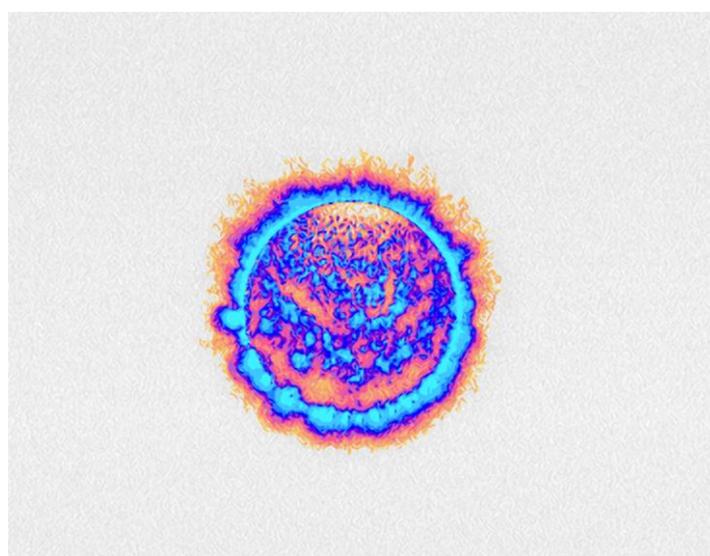
Mesures avec la camera CCD VersArray 1300B de chez Princeton				
Date des mesures : 12.09.2023				
Nom du producteur	Type de produit	Valeur énergétique en UC Endocarpe (pulpe avec graines)	Valeur énergétique en UC Mesocarpe (chair)	Valeur énergétique en UC Epicarpe (peau)
	Mesure de la chambre noire	211	218	209
	Mesure boîte de pétri à vide	320	324	319
Plantonic	Tomate N°1 en électroculture	10 852	10 223	10 023
Plantonic	Tomate N°2 en électroculture	10 800	10 116	10 103
Plantonic	Tomate N°3 en électroculture	10 832	10224	10196
Plantonic	Tomate N°4 en électroculture	10 103	9 985	9 916
Plantonic	Tomate N°5 en conventionnelle	5 987	5 326	5 298
Plantonic	Tomate N°6 en conventionnelle	6 856	6 223	6105
Plantonic	Tomate N°7 en conventionnelle, grande surface, origine Maroc	322	416	298
Plantonic	Tomate N°8 en conventionnelle, grande surface, origine Espagne	416	376	320

Mesures avec la camera CCD VersArray 1300B de chez Princeton Instruments				
Date des mesures : 03.10.2023				
Nom du producteur	Type de produit	Valeur énergétique en UC Endocarpe (pulpe avec graines)	Valeur énergétique en UC Mesocarpe (chair)	Valeur énergétique en UC Epicarpe (peau)
	Mesure de la chambre noire	211	218	209
	Mesure boîte de pétri à vide	320	324	319
Ferme des Grenouilles	Tomate N°9 maraîcher local Bio La ferme des Grenouilles à Villeneuve Loubet (06)	8952	8823	8016
Producteur Local Carros	Tomate N°10 maraîcher local conventionnelle à Carros (06)	4989	4954	4801
Carrefour	Tomate N°11 Bio Carrefour origine France	4623	4532	4485
Biocop Nice	Tomate N°12 Bio Biocoop origine Var	4616	4512	4321
Carrefour	Tomate N°13 conventionnelle Carrefour, origine France	2774	1720	229
Intermarché	Tomate N°14 conventionnelle origine Espagne	2603	2501	420
Monoprix	Tomate N°15 conventionnelle conventionnelle Monoprix, origine France	1730	1520	376
Epicier Nice	Tomate N°16 conventionnelle, Epicier Nice, origine Maroc	1207	1152	1025
Grand Frais	Tomate N°17 conventionnelle Grand Frais, origine France	227	228	224
Lidl	Tomate N°18 conventionnelle Lidl, origine France	318	322	329

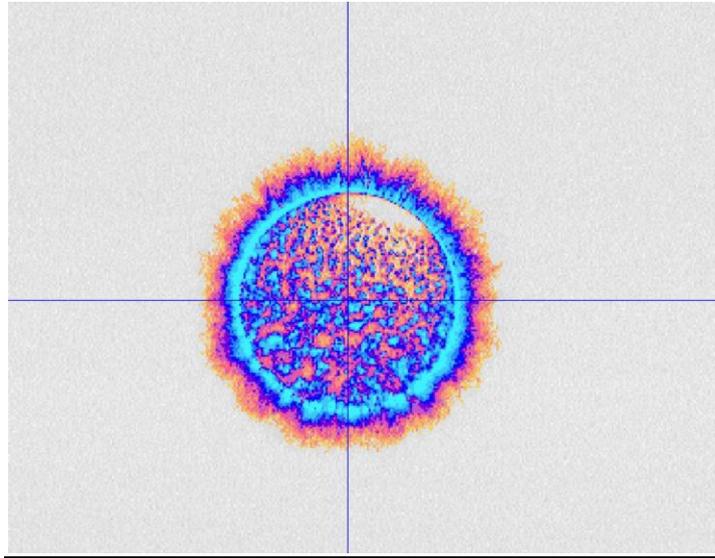
**Tableau 5**

<b>Mesures avec le luminomètre BERTHOLD LB 9508</b>		
<b>Date des mesures : 12.09.2023</b>		
Plantonic	Mesure de la chambre noire	26
Plantonic	Mesure du tube à vide	32
Plantonic	Terre conventionnelle	152
Plantonic	Terre en électroculture	203
<b>Mesures avec la camera CCD VersArray 1300B de chez Princeton Instruments</b>		
<b>Date des mesures : 12.09.2023</b>		
Plantonic	Mesure de la chambre noire	211
Plantonic	Mesure boite de pétri à vide	320
Plantonic	Terre conventionnelle	8963
Plantonic	Terre en électroculture	9684

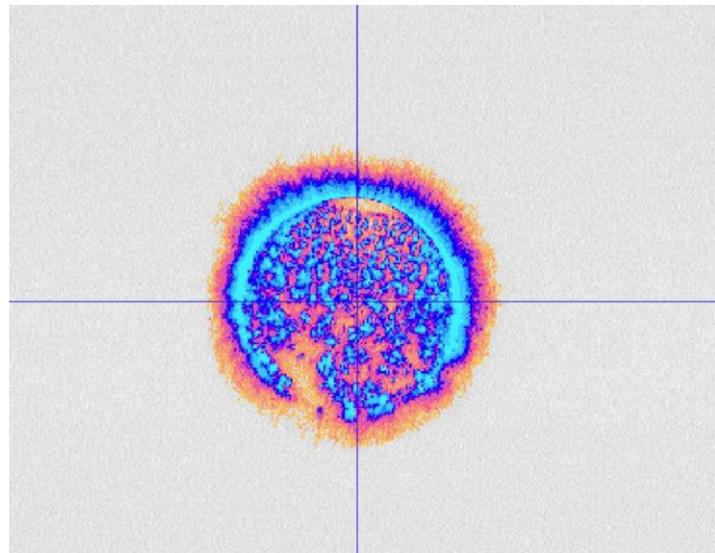
**Représentation spatiale de la valeur énergétique des tomates avec la camera CCD VersArray 1300B**



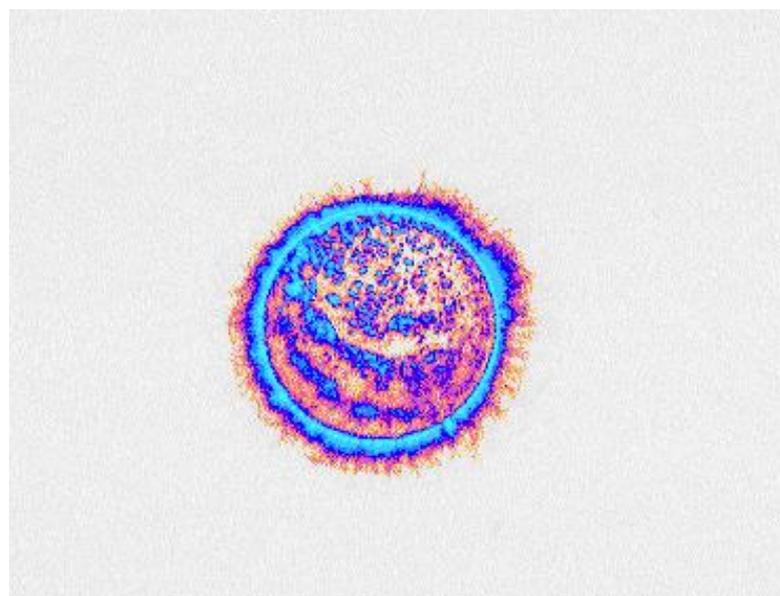
**Tomate N°1**



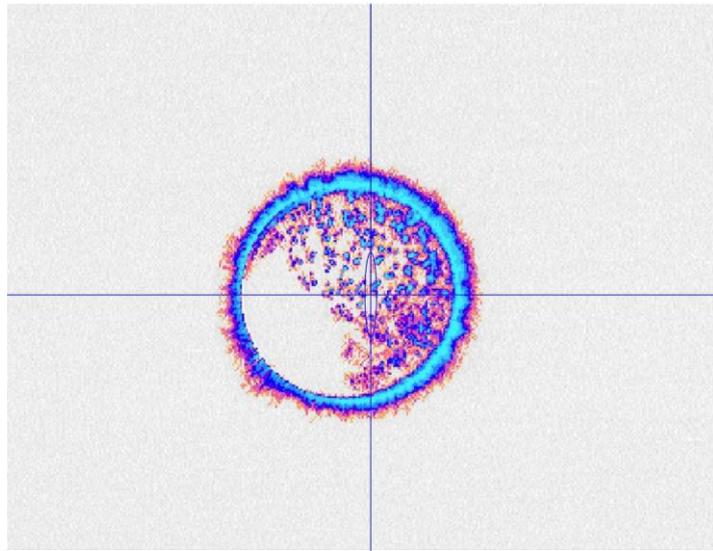
Tomate N°2



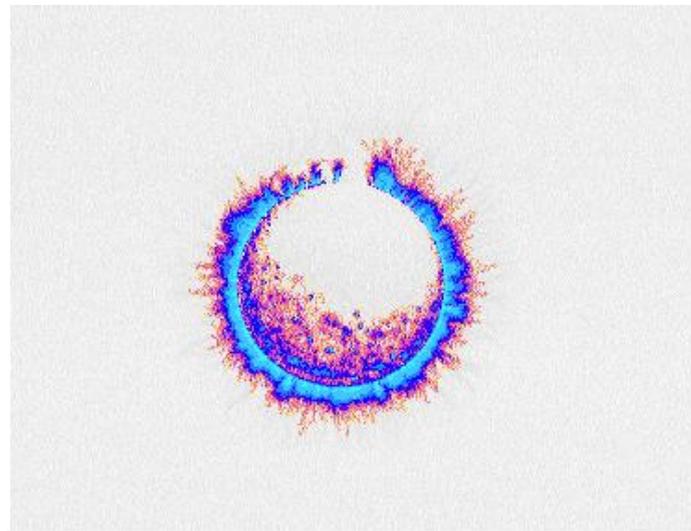
Tomate N°3



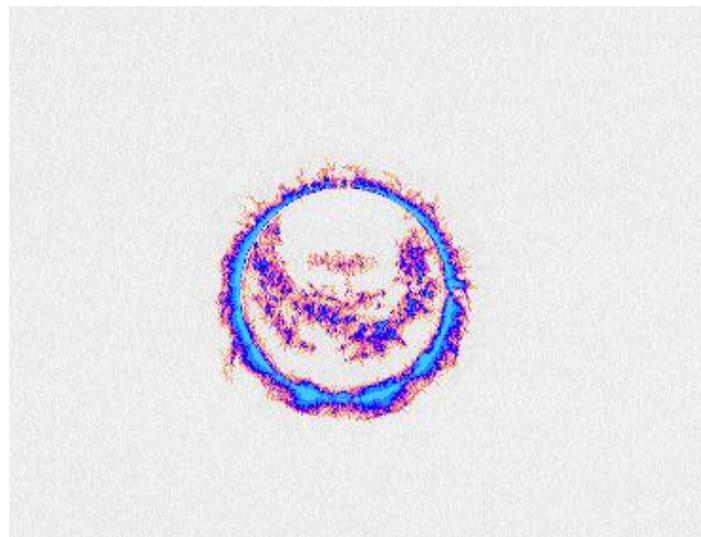
Tomate N°4



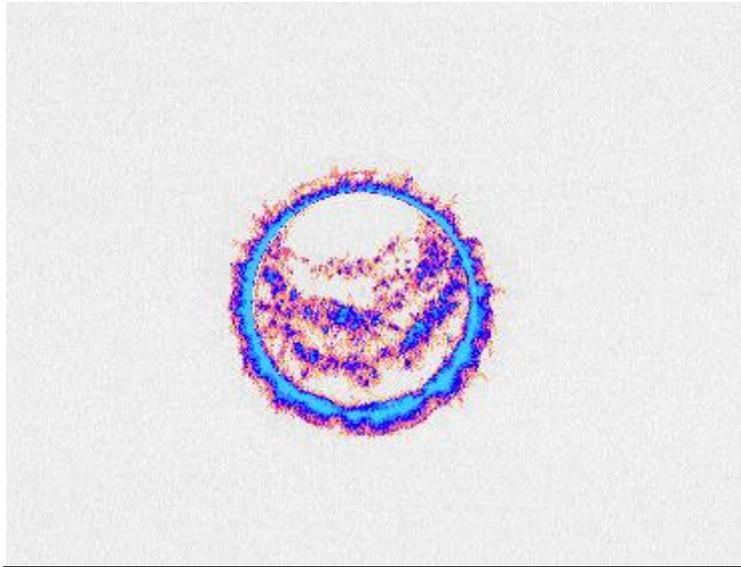
Tomate N°5



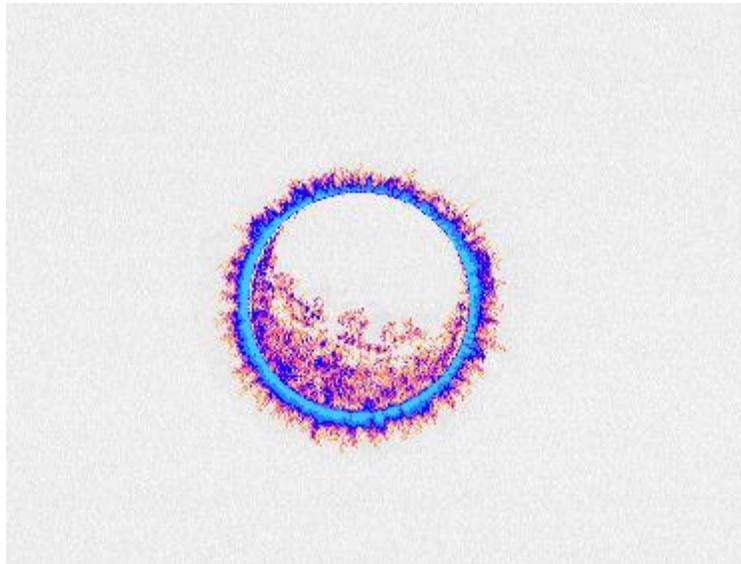
Tomate N°6



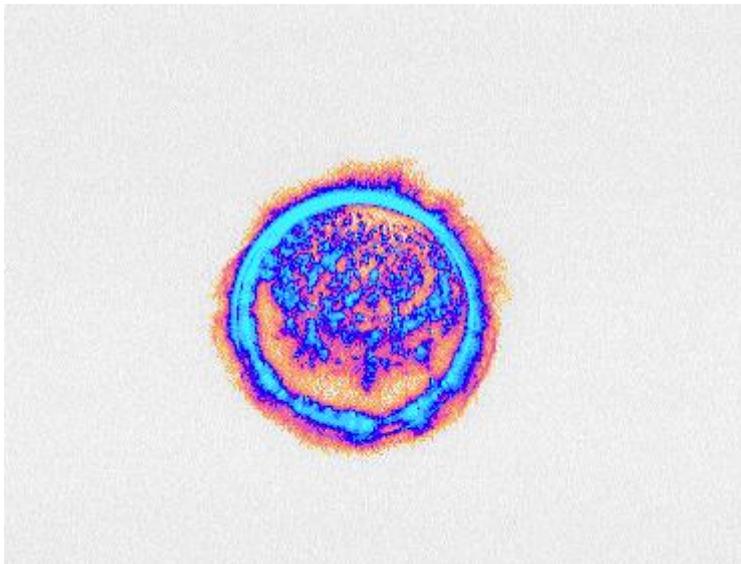
Tomate N°7 Maroc



Tomate N°8 Espagne

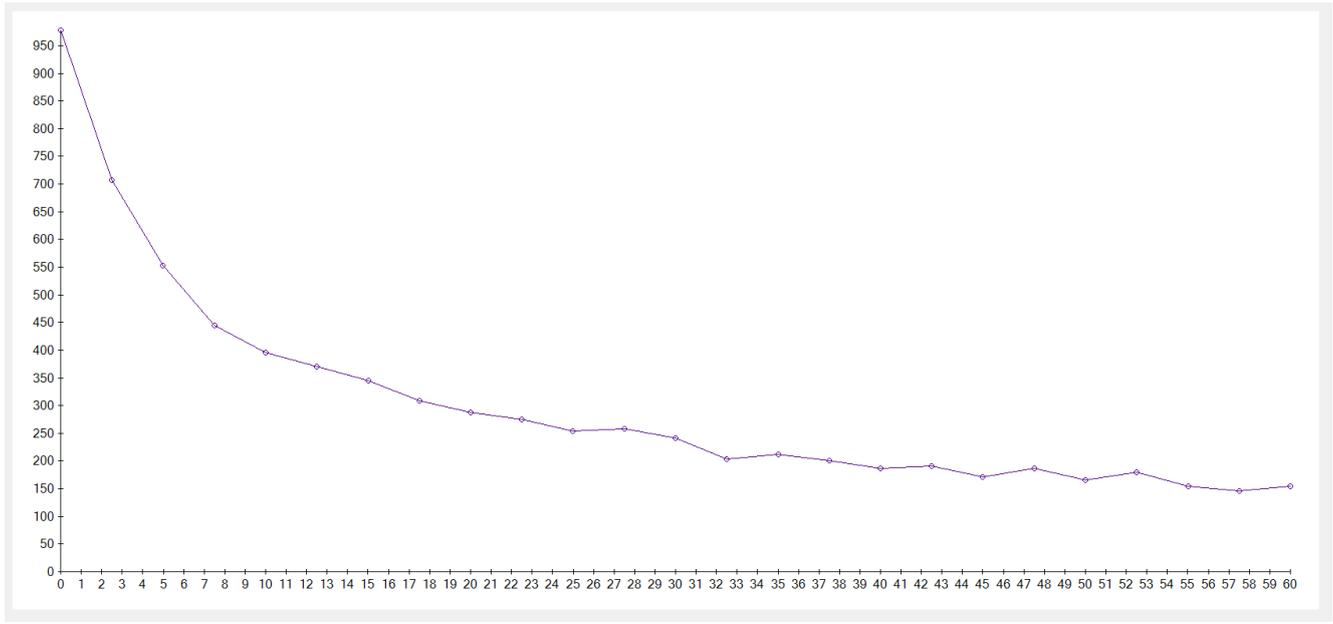


Terre conventionnelle

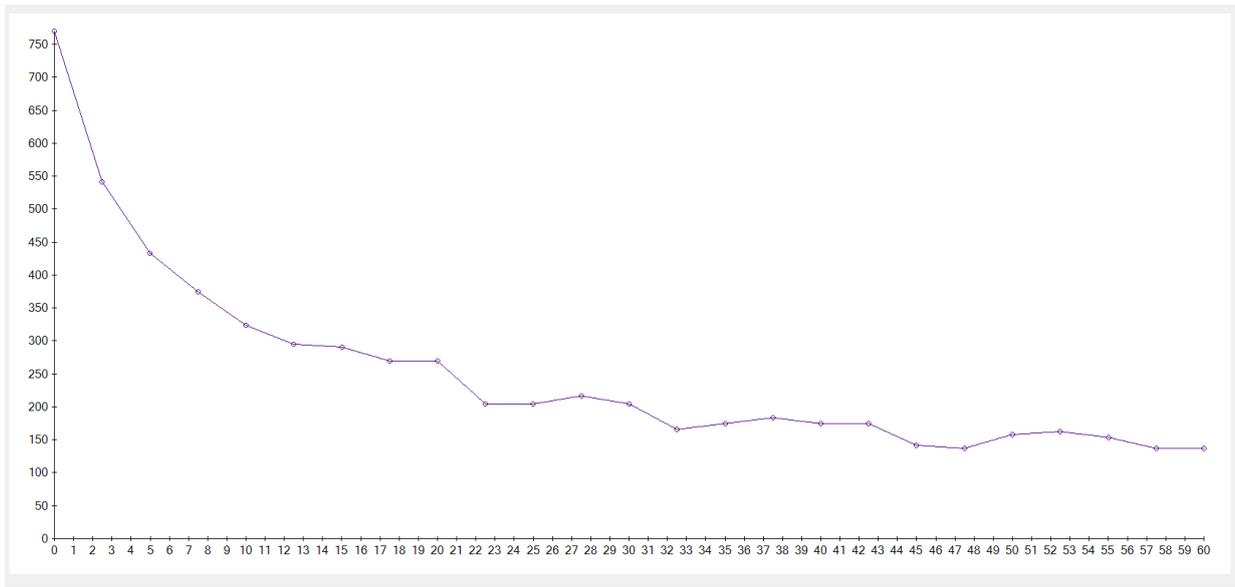


Terre en électroculture

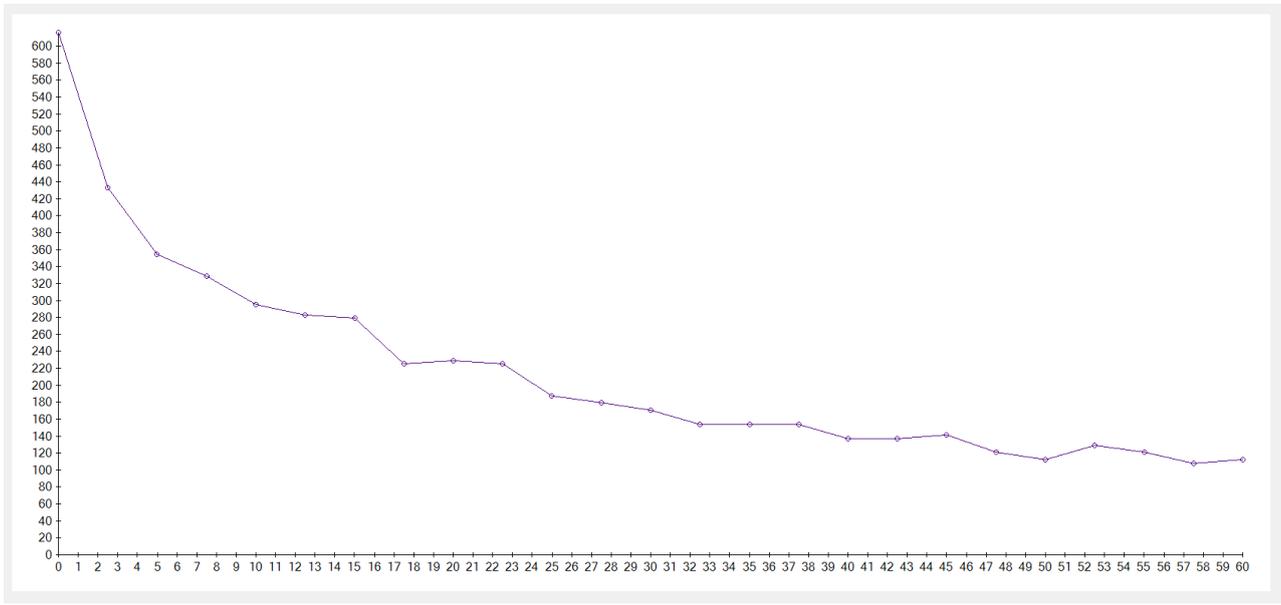
# Graphiques avec le Luminomètre de chez Berthold, exprimés en RLU (quantité de biophotons)



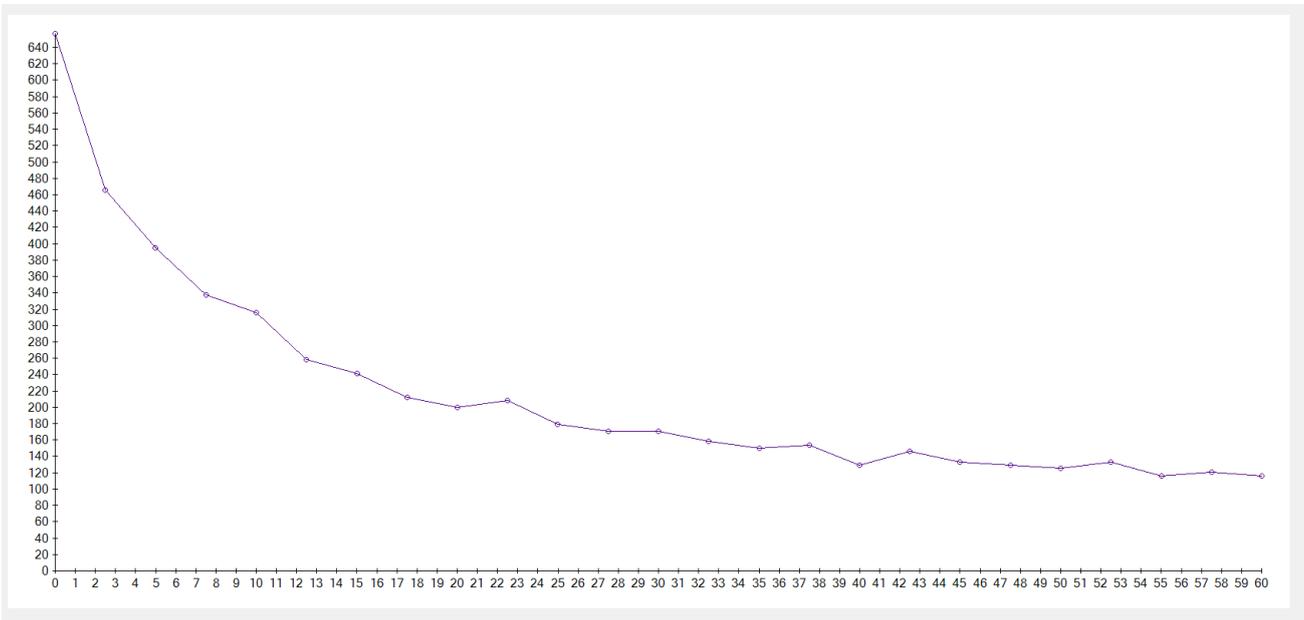
**Tomate N°1**



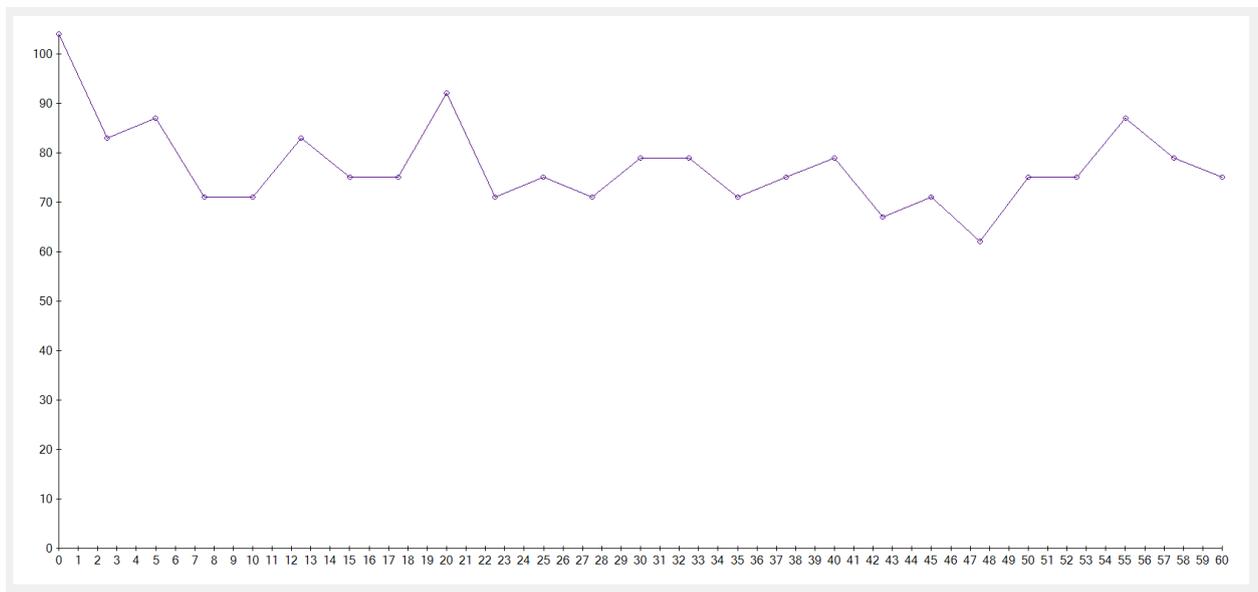
**Tomate N°2**



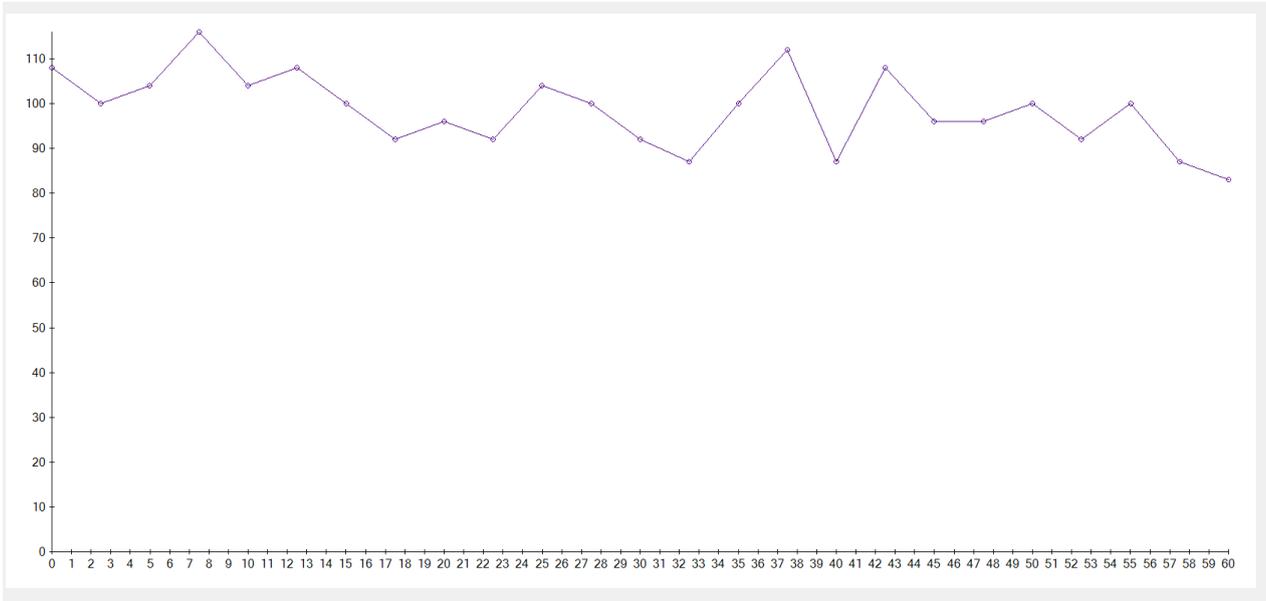
**Tomate N°3**



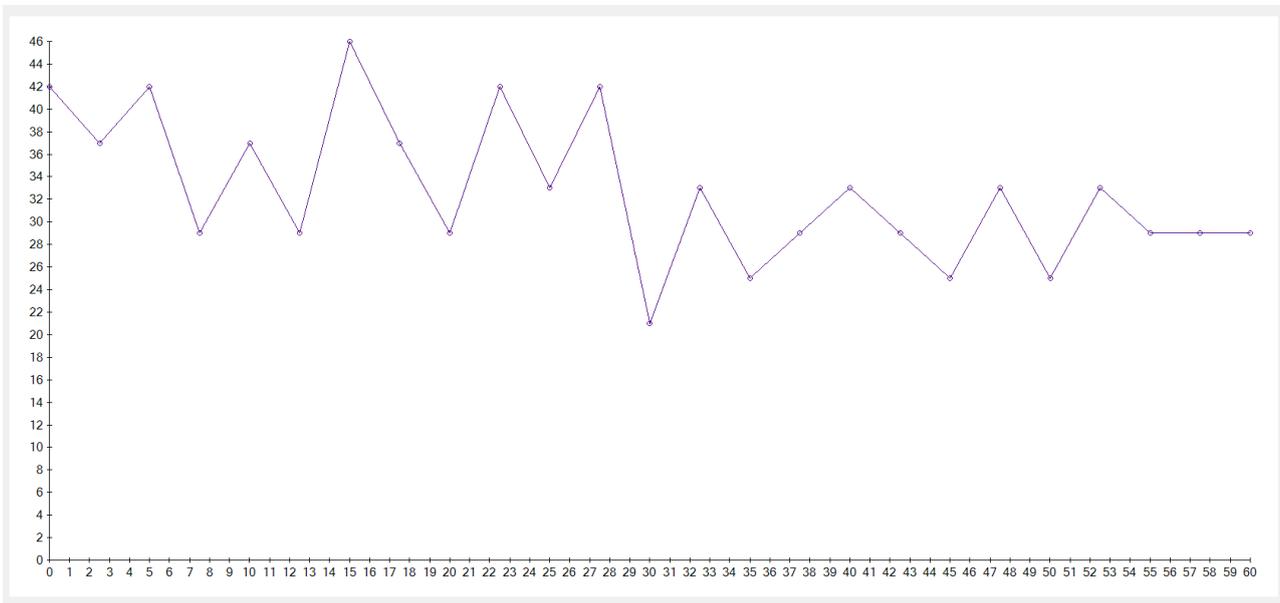
**Tomate N°4**



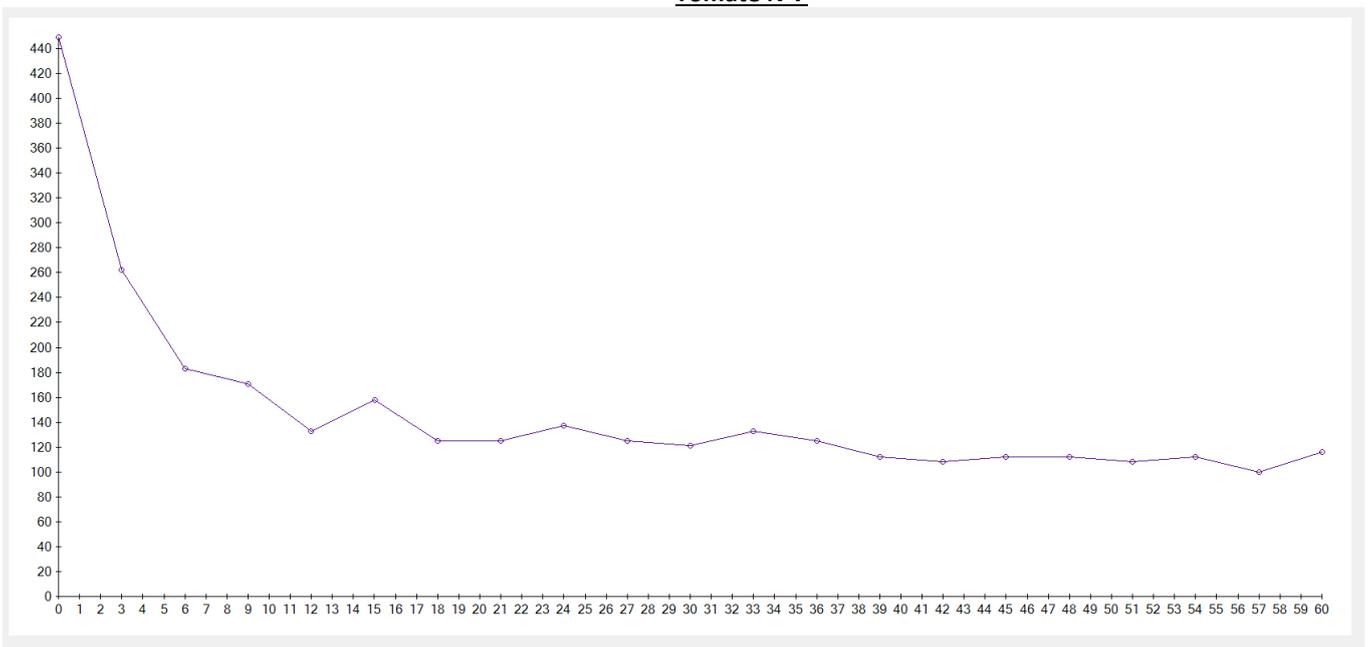
**Tomate N°5**



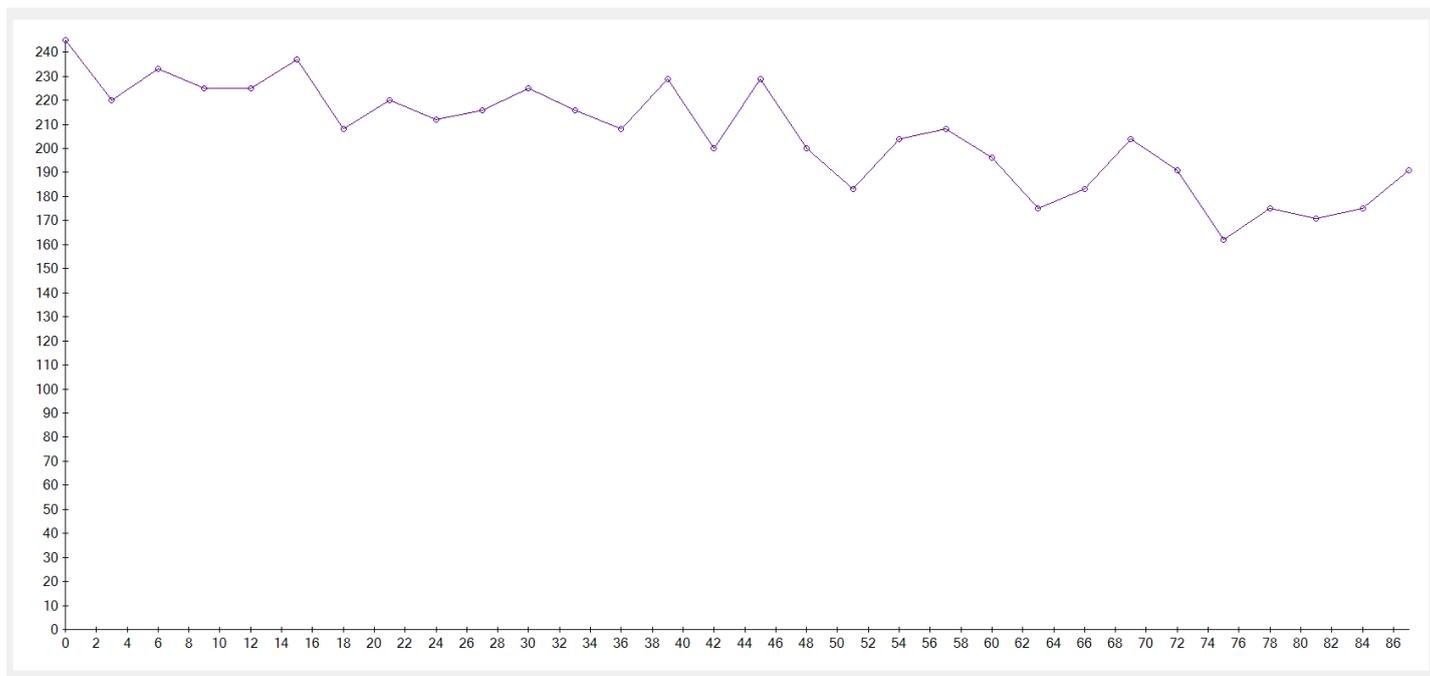
**Tomate N°6**



**Tomate N°7**



**Terre conventionnelle**



**Terre en électroculture**

## **11.Remarques et conclusions**

L'étude actuelle se concentre sur le niveau d'émission et le capital énergétique de biophotons contenu dans les tomates. Les facteurs pouvant faire varier ces paramètres sont : la qualité de l'environnement, la qualité des sols, le type de traitement utilisé, la fermentation, le stress hydrique, certaines ondes électromagnétiques supérieures ou égales à 2.5 Ghz...

Comme l'indique cette étude parue dans Nature, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45007-3>, l'interaction avec des espèces réactives de l'oxygène (ROS) et/ou des radicaux libres, des espèces excitées sont produites par décomposition d'intermédiaires de haute énergie dérivés de processus de réaction enzymatiques ou non enzymatiques. Par exemple, dans l'état de métabolisme normal ou l'état induit par un certain stress, la chaîne de transfert d'électrons mitochondriale est connue pour être une source de ROS conduisant à l'émission de biophotons.

**Par conséquent, la notion de stress est étroitement liée à l'émission de biophotons dans un organisme vivant.**

**Dans notre cas d'étude pour les tomates, les hautes valeurs biophotoniques des tomates en électroculture indiquent qu'il n'y a pas de stress au niveau du fruit ou de la plante mais au contraire, l'électroculture aide à une dynamisation de l'activité biophotonique vitale de ces organismes.**

**Les résultats des tomates mises en électroculture font apparaître un niveau d'émission de biophotons très élevé et bien supérieur aux tomates issues d'une culture conventionnelle. Il en est de même avec les 2 échantillons de terre. L'électroculture impacte de manière bénéfique les sols.**

**Les tomates N°11 à 18 montrent des résultats plus faibles. Nous soulignons l'importance de l'eau dans les cultures. Certaines tomates ont-elles été irradiées ? Le temps entre la récolte et la mise sur l'étagère a-t-il été trop long ?**

**L'électroculture telle que pratiquée par la société Plantonic donne des résultats supérieurs au développement des tomates par rapport à des cultures dites conventionnelles.**

Nous rappelons ici que le niveau d'émission de biophotons d'un organisme « vivant » constitue une réserve vitale nécessaire à son développement et est un moyen de communication intra et extra cellulaire fondamental. Les biophotons participent de manière significative dans les processus de fonctionnement de l'ADN et des protéines, notamment dans le processus de réplication de l'ADN, la production d'ATP en tant que réserve énergétique, la phosphorylation oxydative et la photosynthèse [33-129].

Les études menées par le professeur F.A. Popp, indiquent que toute alimentation de qualité doit comprendre une partie « vivante » importante, c'est-à-dire un milieu dans lequel des photons sont encore « stockés » et donc transférables à l'organisme récepteur.

Les organismes vivants sont des systèmes « ouverts » au sens thermodynamique. Ils ne puisent pas seulement dans leur environnement les matériaux chimiques nécessaires à leur métabolisme, mais également des informations destinées à entretenir leur fonctionnement. Ceci nous indique l'importance, en matière de santé, des moyens de conservation utilisés pour des aliments frais. Il va de soi, nous indique F.A. Popp, que des légumes ou des fruits stabilisés par irradiations gamma (ionisés) perdent la quasi totalité de leur potentiel nutritif puisque les cellules qui les composent sont tuées par l'irradiation (évasion des photons des structures cellulaires). De même les fruits et légumes stérilisés présentent le même inconvénient majeur. L'organisme, en mangeant des fruits et légumes frais, consomme aussi de la lumière sous forme de photons.

**Dans cette étude, il convient de préciser que, plus une émission de biophotons en terme de quantité et d'énergie est élevée, plus elle est à même d'interagir de manière cohérente et ordonnée avec son environnement, traduisant de ce fait l'interaction bénéfique entre les « valeurs naturelles » du soleil, du sol, de la plante et du fruit.**

## **12. Perspectives**

Bien que l'émission de biophotons soit un phénomène général se produisant dans tous les organismes vivants, cela implique que les propriétés d'émission de biophotons peuvent 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 ? La méthode proposée par Plantonic répond en partie à cette question et pourrait ouvrir de nouveaux horizons dans les sciences agricoles.**

La technique d'imagerie biophotonique peut ouvrir de nouvelles perspectives sur la compréhension de l'électroculture, prenant en compte : les aspects environnementaux, la qualité des sols, les intrants et le savoir faire de l'agriculteur.

**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.**

## **13. Références**

- [1] Popp, FA *et coll.* . Revue multi-auteurs 'Biophoton Emission'. *Experientia* 44 , 543–600 (1988).
- [2] Kobayashi, M. Émission spontanée de photons ultra-faibles d'organismes vivants - biophotons - phénomènes et techniques de détection pour l'extraction d'informations biologiques. *Tendances de Photochem. Photobiol.* 10 , 111-135 (2003).
- [3] Signalisation physique de cellule à cellule à longue portée via des mitochondries à l'intérieur de nanotubes membranaires : une hypothèse. Publié : 06 juin 2016 <https://tbiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12976-016-0042-5>
- [4] V. Salari, H. Valian, H. Bassereh et I. Bókkon, « *Ultraweak photon emission in the brain* », *Journal of Integrative Neuroscience*, vol. 14, n° 3, septembre 2015, p. 419–429 (ISSN 0219-6352, PMID 26336891,
- [5] Parisa Zarkeshian, Sourabh Kumar, Jack Tuszyński et Paul Barclay, « *Are there optical communication channels in the brain?* », *Frontiers in Bioscience (Landmark Edition)*, vol. 23, 03 01, 2018, p. 1407–1421 (ISSN 1093-4715, PMID 29293442
- [6] Felix Scholkmann. Published: 06 June 2016 Long range physical cell-to-cell signalling via mitochondria inside membrane nanotubes: a hypothesis <https://tbiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12976-016-0042-5>
- [7] Yan Sun , Chao Wang et Jiawei Dai. Les biophotons en tant que signaux de communication neuronaux démontrés par l'autographie de biophotons *in situ*
- [8] Zarkeshian P et al., "Are there optical communication channels in the brain ?" , *Frontiers in Bioscience*, 2018, 23 :1407-1421.
- [9] Masaki Kobayashi , Daisuke Kikuchi et Hitoshi Okamura PLoS One. 2009 ; 4(7) : e6256. Publié en ligne le 16 juillet 2009. doi: 10.1371/journal.pone.0006256 PMCID : PMC2707605 PMID : 19606225 Imagerie de l'émission spontanée de photons ultrafaibles du corps humain affichant un rythme diurne.
- [10] FA Popp , W Nagl , KH Li , W Scholz , O Weingärtner , R Loup. *Biophysique Cellulaire* 1984 mars ; 6 (1) : 33-52. doi:10.1007/BF02788579.Émission de biophotons. Nouvelle preuve de cohérence et ADN comme source PMID : 6204761 DOI : 10.1007/BF02788579
- [11] Émission de biophotons Nouvelle preuve de cohérence et ADN comme source FA Popp , W. Nagl , KH Li , W. Scholz , O. Weingärtner, R. Loup *Biophysique cellulaire* le volume 6 , pages33–52 ( 1984 )
- [12] Zhang X., Yang H., Li F., Zhang W., Modifications des teneurs en luminescence ultraweak, ATP et oxygène actif pendant la fluorescence d'abricot, *J. Plant Phy. Mol. Biol.*, 2004, 30, 41-44
- [13] Jinli Guo, Guanyu Zhu, Lianguo Li, Huan Liu. Ultraweak photon emission in strawberry fruit during ripening and aging is related to energy level November 2017 *Open Life Sciences* 12(1) DOI:10.1515/biol-2017-0046
- [14] Masakazu Katsumata, Yuko Ikushima, Keith Bennett, Yukiko Sato, Ayano Takeuchi, Norihisa Tatarazako, Tomoyuki Hakamata, "Validation of rapid algal bioassay using retarded fluorescence in an interlaboratory ring study," *Science of The Total Environment*, Volumes 605-606, 2017, Pages 842-851, ISSN 0048-9697,
- [15] Ayano TAKEUCHI, Masakazu KATSUMATA, Takashi KOIKE, Yuri TAKATA, Yasuyuki ITATSU, Takashi KUSUI, « Comparison of the Conventional Algal Growth Inhibition Tests Using Cell Counting and Algal Bioassay Using Delayed Fluorescence: Application to Industrial Effluents, *Journal of Water and Environment Technology* » 2014, volume 12, numéro 4, pages 367-

377, publié le 10 août 2014, en ligne ISSN 1348-2165,

[16] Masakazu Katsumata, Ichiro Takeuchi, « La fluorescence retardée en tant qu'indicateur de l'influence des herbicides Irgarol 1051 et Diuron sur le corail dur *Acropora digitifera* », Bulletin de la pollution marine, volume 124, numéro 2, 30 novembre 2017, pages 687-693

[17] Mohammad Amin Nematollahi/Zahra Alinasab/Seyed Mehdi Nassiri/Amin Mousavi Khaneghah jeu, 15 oct. 2020 dans *Assurance qualité et sécurité des cultures et des aliments*

Émission de photons ultra-faibles : un outil de détection non destructif pour l'évaluation de la qualité et de la sécurité des aliments <https://qascf.com/index.php/qas/article/view/766/771> DOI : 10.15586/qas.v12iSP1.766

[18] Ilona Gałązka-Czarnecka/Lodz University of Technology, Ewa Korzeniewska/Lodz University of Technology, **Andrzej Czarnecki**/Lodz University of Technology, Michał Sójka/Lodz University of Technolog. Evaluation of Quality of Eggs from Hens Kept in Caged and Free-Range Systems Using Traditional Methods and Ultra-Weak Luminescence June 2019 Applied Sciences 9(12):2430

DOI:10.3390/app9122430

[19] Mohammad Amin Nematollahi Zahra Alinasab Seyed Mehdi Nassiri Amin Mousavi Khaneghah. Thu, 15 Oct 2020 in *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* : Ultra-weak photon emission: a nondestructive detection tool for food quality and safety assessment <https://qascf.com/index.php/qas/article/view/766/771>

[20] Projet de recherche en collaboration Science Group, Wageningen University Research et l'Institut Louis Bolck. (2007). *Qualité des produits laitiers : différence entre bio et régulier*. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/115904> <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/115904>

[22] A. TRIGLIA , G. LA MALFA , F. MUSUMECI , C. LEONARDI , A. SCORDINO Luminescence retardée comme indicateur de la qualité des tomates. Première publication: 28 juin 2008 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15775.x> Recherche partiellement soutenue par CNR et MURST dans le cadre du projet « Technologie innovante » <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15775.x>

[23] Jun Wang, Yong Yu Relation entre la bioluminescence ultra-faible et la vigueur ou la dose d'irradiation du blé irradié. Première publication: 17 mars 2009 <https://doi.org/10.1002/bio.1096>

[24] Shengpeng Wang ,Yong Jing ,Li Li ,Min He ,Yusheng Jia ,Edouard van Wijk ,Yitao Wang ,Zhihong Wang , Mei Wang . Application des mesures de luminescence retardée pour l'identification de matières végétales : une étape vers un contrôle qualité rapide, Publié : 28 octobre 2019

[25] Peter Stolz, Jenifer Wohlers, KWALIS GmbH, Gudrun Mende. Mesure de la luminescence retardée par FES pour évaluer les aspects de qualité particuliers des échantillons d'aliments - un aperçu, Juillet 2019, Agriculture ouverte 4(1):410-417 DOI : 10.1155/opag-2019-0039.

[26] Tahereh Esmaeilpour ,Esmail Fereydouni ,Farzaneh Dehghani ,Istvan Bókkon ,Mohammad-Reza Panjehshahin ,Noemi Császár-Nagy ,Mehdi Ranjbar , Vahid Salari . Publié : 16 janvier 2020 Une enquête expérimentale sur l'émission de photons ultrafaibles à partir de cellules souches neurales murines adultes

[27] Fritz-Albert Popp, « Principles of complementary medicine in terms of a suggested scientific basis », Indian Journal of Experimental Biology, vol. 46, n° 5, mai 2008, p. 378–383 (ISSN 0019-5189, PMID 18697623

[28] I. Bókkon, V. Salari, J.A. Tuszyński, I. Antal. Estimation of the number of biophotons involved in the visual perception of a single object image: Biophoton intensity can be considerably higher inside cells than outside <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1011134410001338>

[29] Émissions de biophotons dans les mauvaises herbes résistantes aux sulfonilurées et aux herbicides

Par Hideki Nukui, Hidehiro Inagaki, Hiroyuki Iyozumi et Kimihiko Kato Soumis : 30 mai 2012 Avis : 15 janvier 2013 Publié: 29 mai 2013

[30] Kobayashi, Katsuhiko; Okabe, Hirotaka; Kawano, Shinya; Hidaka, Yoshiki; Hara, Kazuhiro (2014). "L'émission de biophoton induite par le choc thermique". *PLOS ONE* . 9 (8): e105700. Bibcode : 2014PLoSO ... 9j5700K . doi : 10.1371 / journal.pone.0105700 . PMC 4143285 . PMID 25153902 .

[31] Pospíšil, P., Prasad, A. & Rác, M. Rôle des espèces réactives de l'oxygène dans l'émission de photons ultra-faibles dans les systèmes biologiques. *J. Photochem. Photobiol. B* 139 , 11–23 (2014).

[32] Karla R. Borba, Didem P. Aykas, Maria I. Milani, Luiz A. Colnago, Marcos D. Ferreir et Luis E. Rodriguez-Saona. Spectroscopie portable proche infrarouge comme outil d'analyse du contrôle qualité des tomates fraîches sur le terrain. *Appl. Sci.* **2021** , 11 (7), 3209 ; <https://doi.org/10.3390/app11073209>. Reçu : 16 mars 2021 / Révisé : 29 mars 2021 / Accepté : 1er avril 2021 / Publié : 2 avril 2021

[33] MA Abdelhamid, Yu. A. Sudnik, HJ Alshinayyin et Fatma Shaaban. Fluorescence de la chlorophylle pour la classification des fruits de tomates selon leur stade de maturité . Publié en ligne 2020