

TOUCHER LE SOLEIL À MAINS NUES



JEAN-SÉBASTIEN BOISVERT, jean-sebastien.boisvert@umontreal.ca
Programme de doctorat en physique

Le cœur du Soleil se consume à plusieurs millions de degrés Celsius. Dans ces conditions, il va de soi qu'aucune vie n'est possible. Beaucoup plus basse, la température de la surface du Soleil, d'environ 6 000 °C, est largement suffisante pour faire non seulement fondre, mais aussi bouillir le fer! Tout contact physique avec un objet aussi chaud semble donc complètement inimaginable. Pourtant, dans plusieurs hôpitaux d'Allemagne, il est possible de toucher, sans se brûler, un gaz dont la « température » avoisine les 10 000 °C, et ce, afin d'accélérer la guérison de plaies qui autrement prendraient des mois à se résorber naturellement.

LES RECHERCHES DE CETTE ÉQUIPE ONT MONTRÉ QU'EN APPLIQUANT UN TRAITEMENT AU PLASMA FROID, LES SOURIS TRAITÉES POUR UN CANCER DU CÔLON VOIENT LA DURÉE DE LEUR VIE PLUS QUE DOUBLER PAR RAPPORT AUX SOURIS NON TRAITÉES.

Par son rayonnement, le Soleil fournit la Terre en énergie depuis des milliards d'années. Pendant les derniers millénaires, l'humain a utilisé ce rayonnement pour mesurer le passage du temps ou pour s'approvisionner en énergie. Existe-t-il une autre manière d'exploiter le Soleil ? En fait, en laboratoire, il est possible de recréer un « Soleil » et de l'utiliser pour une multitude d'applications comme l'éclairage (lampe néon), la fabrication de pièces d'ordinateur, la stérilisation, l'usinage et éventuellement la production d'électricité propre¹. Ce « Soleil » (tout comme celui qui brille dans le ciel) est en fait un plasma et, sous certaines conditions, il est possible de le toucher à mains nues. Dans ce dernier cas, il s'agit d'un plasma froid, comme ceux qui accélèrent la guérison de plaies ou qui servent à traiter le cancer².

Du traitement de surface écologique au traitement du cancer

Parmi les différents emplois du plasma froid, l'exemple du traitement de surface écologique est particulièrement intéressant et d'actualité. En effet, il a été montré qu'il est possible d'utiliser un plasma froid pour appliquer une couche hydrophobe sur du bois afin de le protéger³, ce qui pourra un jour être utilisé en menuiserie ou en construction. C'est d'ailleurs à l'Université de Montréal, dans l'équipe du professeur Luc Stafford, que de tels résultats ont été obtenus. Cette méthode propose donc une solution de rechange écologique à l'application de vernis ou de laque, puisque la couche déposée par plasma est environ 100 fois plus mince que celle apposée par les méthodes traditionnelles. Qui plus est, les molécules chimiques utilisées dans le processus sont créées à même le plasma plutôt que d'être synthétisées industriellement, ce qui limite la quantité de produits chimiques nécessaires et réduit donc la contamination de l'environnement.

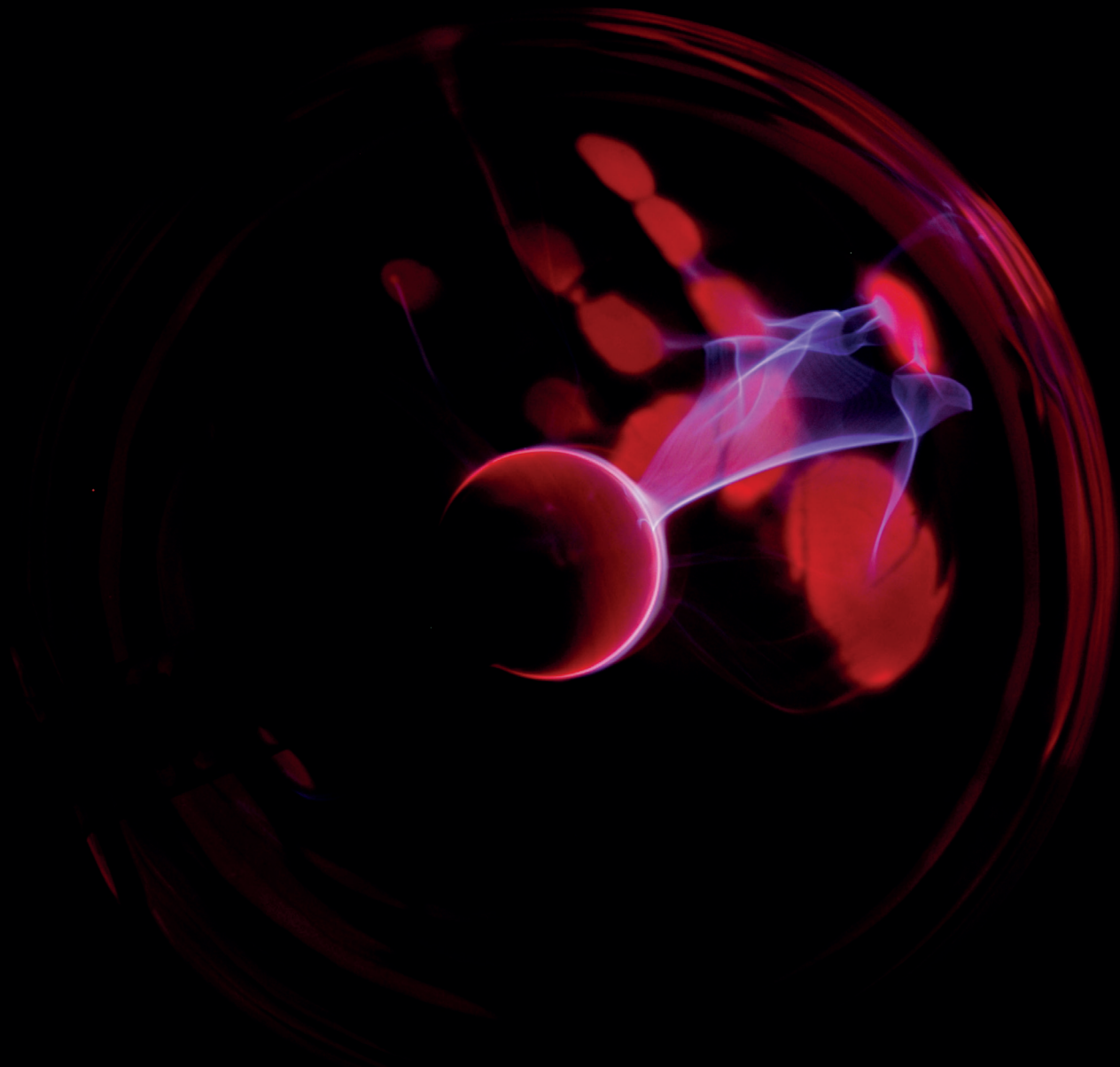
Plus surprenante encore est l'utilisation des plasmas froids pour le traitement du cancer. Il s'agit de déployer le plasma sur la zone contenant des cellules cancéreuses, une procédure qui peut être mise en œuvre *in vivo* à l'aide du *Plasma gun* développé par l'équipe du professeur Jean-Michel Pouvesle de l'Université d'Orléans, en France. Les recherches de cette équipe

ont montré qu'en appliquant un traitement au plasma froid, les souris traitées pour un cancer du côlon voient la durée de leur vie plus que doubler par rapport aux souris non traitées. L'effet antitumoral du plasma froid s'est aussi révélé plus efficace que la chimiothérapie pour traiter le cancer du pancréas chez les souris. En outre, un traitement combiné de chimiothérapie et au plasma annonce des résultats très encourageants : les tumeurs cancéreuses ne présentent presque aucune augmentation de volume après 36 jours de traitement combiné, un meilleur résultat que celui observé chez des tumeurs non traitées ou traitées par chimiothérapie seule. La manière dont le plasma élimine les cellules cancéreuses se veut plus prometteuse encore. En fait, plutôt que de détruire les cellules cancéreuses, le plasma semble en induire la mort programmée, phénomène connu sous le nom d'« apoptose ». Une faible exposition au plasma d'un seul côté de la tumeur peut engendrer la mort des cellules cancéreuses situées sur les côtés non traités, ce qui pourrait même s'étendre à une autre tumeur que celle directement traitée par plasma. Avec de tels résultats sur des souris, il ne serait pas surprenant de voir apparaître, dans quelques années, des traitements du cancer au plasma froid qui soient adaptés aux humains. Par ailleurs, des hôpitaux allemands utilisent déjà des traitements au plasma froid. Pour le moment, l'application du plasma sert plutôt à accélérer la guérison de plaies sur le corps humain⁴.

Bien qu'il soit possible d'utiliser un plasma froid pour toutes ces applications, comment produire une substance qui possède des propriétés similaires à celles du Soleil, mais que l'on peut toucher sans se brûler ? Afin de répondre à cette question, il est d'abord de mise de comprendre ce qu'est le plasma.

Plasma : le quatrième état de la matière

La manière la plus simple de définir le plasma est en fonction de sa température. Il est alors souvent considéré comme le quatrième état de la matière⁵ : comme un solide chauffé au-dessus de son point de fusion devient un liquide et un liquide amené au-dessus de son point d'ébullition se transforme en gaz, un gaz chauffé suffisamment se change



UNE FAIBLE EXPOSITION AU PLASMA D'UN SEUL CÔTÉ DE LA TUMEUR PEUT ENGENDRER LA MORT DES CELLULES CANCÉREUSES SITUÉES SUR LES CÔTÉS NON TRAITÉS, CE QUI POURRAIT MÊME S'ÉTENDRE À UNE AUTRE TUMEUR QUE CELLE DIRECTEMENT TRAITÉE PAR PLASMA.

en plasma. Selon cette suite de transformations, il faut s'attendre à ce que la température d'un plasma soit extrêmement élevée. En effet, elle est d'au moins plusieurs milliers de degrés Celsius. Cette définition du plasma comme étant le quatrième état de la matière demande néanmoins d'ajouter une précision fondamentale. Dans le cas du solide, du liquide et du gaz, augmenter la température ne fait qu'accroître la vibration des molécules contenues dans l'échantillon de matière concerné. En ce qui concerne le plasma, l'énergie des molécules devient si grande que les électrons se séparent des molécules pour laisser derrière eux des ions, des particules électriquement non neutres. Ainsi, augmenter la température multiplie le nombre de molécules ayant une énergie suffisante pour libérer un électron; les composantes de la matière deviennent électriquement chargées. Le plasma est alors composé d'ions et d'électrons plutôt que de molécules neutres. Autrement dit, contrairement à ce qui s'observe dans la matière « ordinaire », les interactions entre molécules sont de nature électrique. Le plasma est d'ailleurs souvent considéré comme un gaz ionisé ou même un gaz conducteur. C'est cette propriété qui le rend intéressant, autant en théorie qu'en pratique.

Des confins de l'univers à la paume de la main

Bien que la matière environnante prenne le plus souvent les formes solide, liquide ou gazeuse, plus de 99 % de la matière visible dans l'univers est sous la forme d'un plasma. (Il est maintenant de plus en plus évident que la majeure partie de la masse contenue dans l'univers existe sous une forme indétectable par les méthodes d'observation conventionnelles. La matière visible fait référence aux étoiles, aux planètes, aux galaxies, aux trous noirs, etc.) Dans la nature, à l'échelle astronomique, les étoiles et les nébuleuses constituent de gigantesques plasmas. En fait, le Soleil à lui seul contient trois plasmas distincts — son cœur, sa surface et sa couronne —, chacun possédant des propriétés bien différentes.

Plus près de nous, toujours dans la nature, l'ionosphère, les aurores boréales et la foudre, entre autres exemples, forment des plasmas complètement dissemblables. Ensuite viennent les plasmas artificiels ou dits « de laboratoire »; leur diversité est presque aussi vaste que celle des plasmas naturels.

Autrement dit, il n'y aurait pas de microélectronique sans plasma : pas d'ordinateur personnel, pas de tablette numérique, pas de téléphone intelligent, etc.

À l'aide d'appareils nommés « tokamaks », des physiciens tentent de reproduire un plasma semblable à celui qui se trouve au cœur du Soleil, ce qui deviendrait une source d'énergie propre et presque inépuisable, exploitable grâce à la fusion nucléaire. Ce processus est bien différent de celui des centrales à fission nucléaire actuellement en fonction dans la plupart des pays industrialisés. Dans un tokamak, les scientifiques tentent de faire entrer en collision deux atomes d'hydrogène (ou plutôt des isotopes d'hydrogène) avec suffisamment d'énergie pour qu'ils forment un atome d'hélium; une telle collision provoque l'émission d'une grande quantité d'énergie. En théorie, ce procédé est monstrueusement efficace puisque un kilogramme d'hydrogène pourrait remplacer 10 millions de litres de mazout⁶. Pas étonnant que le Soleil, fonctionnant sous ce principe, brille toujours après plus de quatre milliards d'années d'existence.

Le plasma artificiel permet aussi de traiter des matériaux et de modifier des surfaces. Une torche au plasma parvient à couper des métaux durs (métallurgie), à implanter des ions

AUTREMENT DIT, IL N'Y AURAIT PAS DE MICRO-ÉLECTRONIQUE SANS PLASMA : PAS D'ORDINATEUR PERSONNEL, PAS DE TABLETTE NUMÉRIQUE, PAS DE TÉLÉPHONE INTELLIGENT, ETC.

sur un matériau pour le solidifier (aérospatiale) et à décontaminer des surfaces (science médicale). Ce type d'outil est aussi utilisé à profusion dans le domaine de la microélectronique. D'ailleurs, la plupart des étapes de fabrication de tout appareil électronique nécessitent le recours à des procédés au plasma. Autrement dit, il n'y aurait pas de microélectronique sans plasma : pas d'ordinateur personnel, pas de tablette numérique, pas de téléphone intelligent, etc.

La plupart de ces exemples relèvent de plasmas à l'équilibre thermique, c'est-à-dire que toutes les particules présentes dans le plasma sont à une même température d'au moins quelques milliers de degrés Celsius. Le plasma est chaud; impossible d'y toucher sans se brûler!

Plasma froid

Pour rappel : le plasma, considéré comme le quatrième état de la matière, peut être obtenu en apportant de l'énergie thermique à un gaz. Il semble donc inévitable que la température du plasma soit extrêmement élevée. Par contre, ce que le plasma nécessite réellement n'est pas une forte vibration des molécules du gaz (la chaleur), mais plutôt la création de particules chargées qu'entraîne cette forte vibration. Une solution ingénieuse afin d'éviter le chauffage thermique est d'accélérer les particules du gaz à l'aide d'un champ électrique, comme l'illustre la figure 1.

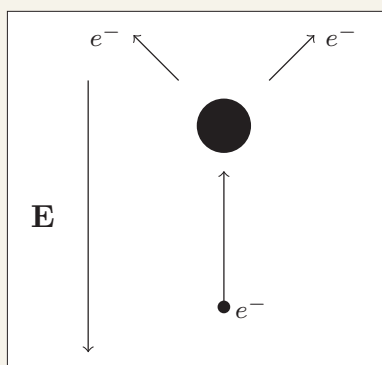


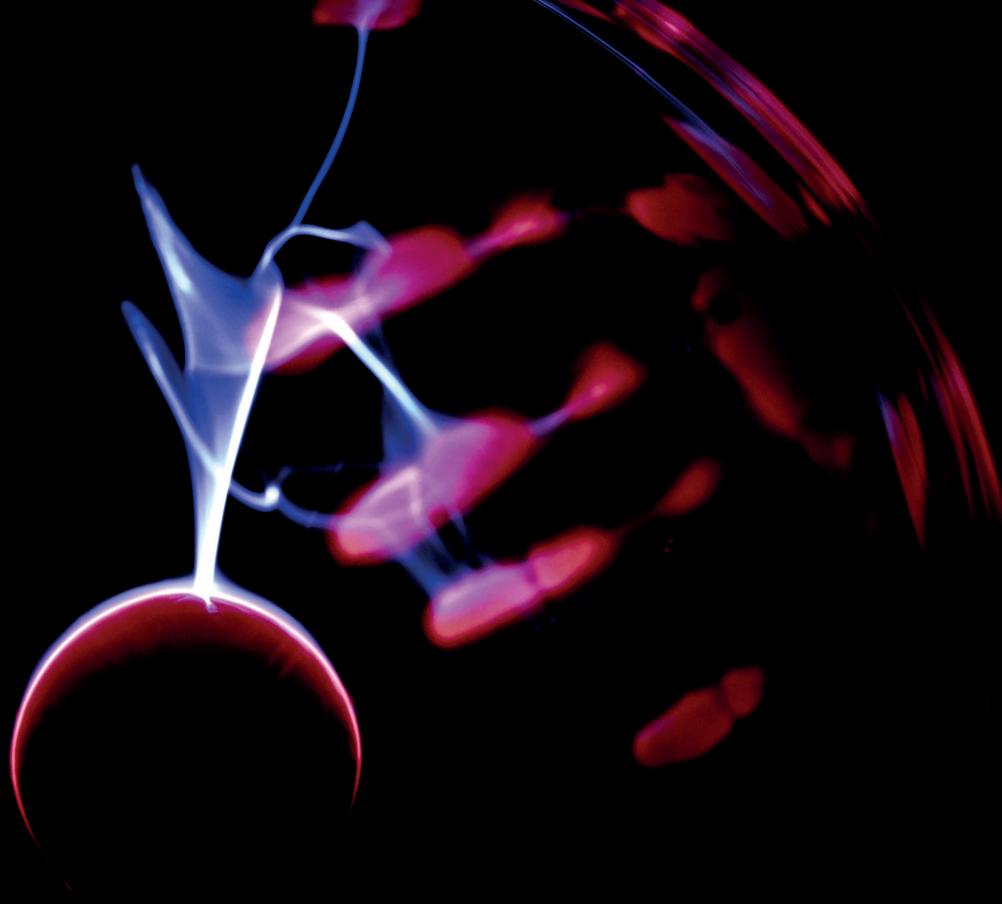
FIGURE 1

Un électron (e^-) est accéléré dans un champ électrique, entre en collision avec un atome ou une molécule, puis l'ionise, ce qui a pour effet de créer un deuxième électron pouvant à son tour être accéléré par le champ électrique.

Comme le cœur du Soleil est un plasma à l'équilibre thermique, la température des électrons y est égale à celle des ions. Dans le cas d'une décharge créée par un champ électrique, la température des électrons est naturellement plus élevée que celle des ions ou des molécules neutres parce que ce sont eux qui sont principalement accélérés par le champ électrique. La température des électrons peut alors atteindre 10 000 °C, tandis que les molécules neutres demeurent à 30 °C. Voilà un plasma froid : on peut le toucher sans se brûler. Grâce à cette propriété, il devient possible de traiter le bois sans qu'il s'enflamme ou d'éliminer des cellules cancéreuses sans incinérer les tissus.

Science ou fiction ?

Il est toujours risqué de faire des suppositions sur les technologies de l'avenir. Dans *Retour vers le futur*, le cinéaste Steven Spielberg offrait sa vision de 2015. Mais la voiture volante, le projecteur d'hologrammes et la nourriture déshydratée ne font toujours pas partie de notre quotidien. En contrepartie, en 1985, qui aurait cru qu'un tiers de la population mondiale allait aujourd'hui traîner un téléphone intelligent dans sa poche? Qui aurait imaginé accélérer la guérison de plaies au moyen d'un gaz aux propriétés semblables à celles du Soleil? La frontière entre la science et la fiction est souvent beaucoup plus floue qu'il n'y paraît. Nous sommes peut-être plus près que nous le croyons de voir apparaître les sabres laser (qui sont, en fait, des sabres plasma) et les pistolets au plasma de la *Guerre des étoiles*, qui sait? ©



RÉFÉRENCES

- ¹ Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Debevere, J. et Devlieghere, F. (2007). Pulsed light for food decontamination: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(9), 464-473. doi : 10.1016/j.tifs.2007.03.010
- Lieberman, M. et Lichtenberg, A. (2005). *Principles of plasma discharges and material processing* (2^e éd.). Hoboken, NJ : Wiley InterScience.
- Fridman, G., Peddinghaus, M., Balasubramanian, M., Ayan, H., Fridman, A., Gutsol, A. et Brooks, A. (2006). Blood coagulation and living tissue sterilization by floating-electrode dielectric barrier discharge in air. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 26(4), 425-442. doi : 10.1007/s11090-006-9038-y doi : 10.1007/s11090-006-9038-y
- Mori, Y., Yamamura, K., Yamauchi, K., Yoshii, K., Kataoka, T., Endo, K., ... Kakiuchi, H. (1993). Plasma CVM (chemical vaporization machining): An ultra precision machining technique using high-pressure reactive plasma. *Nanotechnology*, 4(4), 225-229. doi : 10.1088/0957-4484/4/4/008
- Miyamoto, K. (2005). *Plasma physics and controlled nuclear fusion*. Berlin, NY : Springer.
- ² Robert, E., Vandamme, M., Sobilo, J., Sarron, V., Ries, D., Dozias, S., ... Pouvesle, J. M. (2012). First achievements and opportunities for cancer treatment using non-thermal plasma. Dans Z. Machala, K. Hensel et Y. Akishev (dir.), *Plasma for bio-decontamination, medicine and food security* (p. 381-392). New York, NY : Springer.
- ³ Levasseur, O., Stafford, L., Gherardi, N., Naudé, N., Blanchard, V., Blanchet, P., ... Sarkissian, A. (2012, décembre). Deposition of hydrophobic functional groups on wood surfaces using atmospheric-pressure dielectric barrier discharge in helium-hexamethyldisiloxane gas mixtures. *Plasma Processes and Polymers*, 9(11), 1168-1175.
- ⁴ Von Woedtke, T., Metelmann, H. et Weltmann, K. D. (2014). Clinical plasma medicine: State and perspectives of in vivo application of cold atmospheric plasma. *Contribution to Plasma Physics*, 54(2), 104-117.
- ⁵ Eliezer, S. et Eliezer, Y. (2001). *The fourth state of matter: An introduction to the physics of plasma science* (2^e éd.). Londres, Royaume-Uni : Institute of Physics Publishing.
- ⁶ Moisan, M. et Pelletier, J. (2006). *Physique des plasmas collisionnels : applications aux décharges haute fréquence*. Les Ulis, France : EDP Sciences.