




Le triomphe de la

A photograph of a laboratory setup. A laser beam is visible, creating a grid of light patterns. In the foreground, a warning sign is prominently displayed. The sign is rectangular with a blue border and a yellow background. It features a black triangle with a sunburst symbol inside, representing a laser hazard. Below the triangle, the text "Achtung Laser!" is written in black. The background is dark, with various pieces of equipment and light reflections.

Plus que de la science-fiction.
Devenue célèbre grâce aux épées de lumière magiques de la série « Star Wars », la technologie laser a investi notre quotidien, par exemple pour mesurer le débit d'une pompe à eau.

Photo : Thomas Ernsting/laif/Keystone

Lorsque, il y a cinquante ans, Theodore Maiman a réussi à créer un rayon de lumière rouge à partir d'un cristal de rubis, rien ne laissait présager le formidable essor qu'a connu depuis la technologie laser. Le physicien américain qualifiait lui-même sa découverte de « solution géniale à un problème qu'il fallait encore trouver ». Les applications militaires du laser évoquées par les médias à l'époque – on se trouvait en pleine guerre froide – ont effectivement fait long feu. Le redouté rayon de la mort dont on prophétisait alors l'avènement n'est jamais devenu réalité. Dans le domaine militaire, le laser n'a toujours pas pu démontrer son utilité – malgré les milliards investis dans le programme Star Wars de l'ère Reagan. Et les épées de lumière des puissants chevaliers Jedi restent cantonnées aux films de science-fiction.

technologie laser

Dans le domaine civil, ces faisceaux de rayons lumineux font au contraire partie de notre quotidien et sont utilisés dans des domaines très variés. C'est ce que nous rappelons dans notre point fort. Nous montrons aussi les nouvelles perspectives que le laser ouvre dans la recherche : comment il permet d'améliorer les prévisions météo et comment il va sans doute bientôt contribuer au traitement de l'arthrite rhumatoïde. **ori** ■



Un laser pour mesurer l'atmosphère

La station aérologique de MétéoSuisse à Payerne accueille un radar optique développé par des chercheurs de l'EPFL. Un instrument qu'un volcan islandais a récemment mis sur le devant de la scène.

PAR PHILIPPE MOREL

Au-dessus de la plaine de la Broye, une petite route agricole mène à un bâtiment entouré d'une multitude d'instruments étranges et mystérieux: bienvenue à la station aérologique de Payerne. C'est dans ce véritable centre névralgique que MétéoSuisse récolte l'ensemble de ses données météorologiques de surface ainsi que de nombreuses observations atmosphériques.

L'aventure a commencé dans les années 40, et le choix de Payerne ne doit rien au hasard. Les données météorologiques sont alors considérées comme stratégiques et il est important que les ballons-sondes envoyés analyser l'atmosphère retombent sur le territoire helvétique. En tenant compte des vents dominants, des études montrent que le site broyard répond le mieux à cette exigence. Septante ans plus tard, les statistiques leur donnent raison.

Au rythme des ballons

Aujourd'hui encore, l'envol des ballons-sondes rythme la vie de la station. Celle-ci fait partie du réseau de mesures de l'Organisation météorologique mondiale qui compte environ 700 stations. Deux fois par jour, à 0:00 et 12:00 GMT, elles lâchent simultanément un ballon-sonde. Les profils de vent, de pression, de température et d'humidité qu'ils mesurent jusqu'à plus de 30 000 mètres d'altitude représentent une information de base pour les prévisionnistes du monde entier.

Pour Bertrand Calpini, directeur de la station aérologique, «ces ballons remplissent bien leur mission, mais ne permettent pas de mesurer l'état de l'atmosphère en continu». Une des solutions à ce problème se trouve dans un hangar situé à la périphé-

Contrôle de la vitesse

Des sortes de pistolets laser mesurent la vitesse des skieurs grâce à des impulsions infrarouge courtes que les athlètes réfléchissent depuis la piste. Depuis le milieu des années 1990, la même technologie est utilisée pour la surveillance du trafic. Raison pour laquelle, aujourd'hui, les seuils de tolérance sur les dépassements de vitesse sont plus bas – au grand dam de certains conducteurs.

Urs Fülleler/Keystone



Un radar dans un hangar. Cet instrument envoie de brèves impulsions laser dans l'atmosphère. Une partie de ce faisceau lumineux est ensuite rétrodiffusée puis transformée en un signal électrique et analysée (page 9). C'est ainsi qu'il est possible de déterminer la teneur en vapeur d'eau et en aérosols de l'atmosphère. Illustration: Andreas Gefé.

rie de la station. Celui-ci abrite un Lidar (acronyme de Light Detection And Ranging, soit détection et télémétrie par ondes lumineuses). Il s'agit d'un radar optique qu'une équipe de chercheurs de l'EPFL, dirigée par Hubert van den Bergh et Valentin Simeonov, a développé pour les besoins de MétéoSuisse. Livré en août 2008 à Payerne, il est passé du statut d'instrument expérimental à celui d'instrument opérationnel. Jour et nuit, il délivre toutes les 30 minutes des profils de la teneur en vapeur d'eau et en aérosols de l'atmosphère au-dessus de Payerne. Ces données permettront de corriger en permanence les modèles et d'améliorer les prévisions.

A l'intérieur du hangar, Valentin Simeonov, responsable actuel du groupe Lidar à l'EPFL, en explique le fonctionnement: «Ce radar envoie de très brèves impulsions laser dans l'atmosphère. Les molécules et les particules de l'atmosphère interagissent avec ce faisceau lumineux. Une infime partie en est rétrodiffusée vers le sol, où un télescope la récupère et l'amène à un détecteur de lumière. Elle est ensuite transformée en signal électrique puis analysée.»

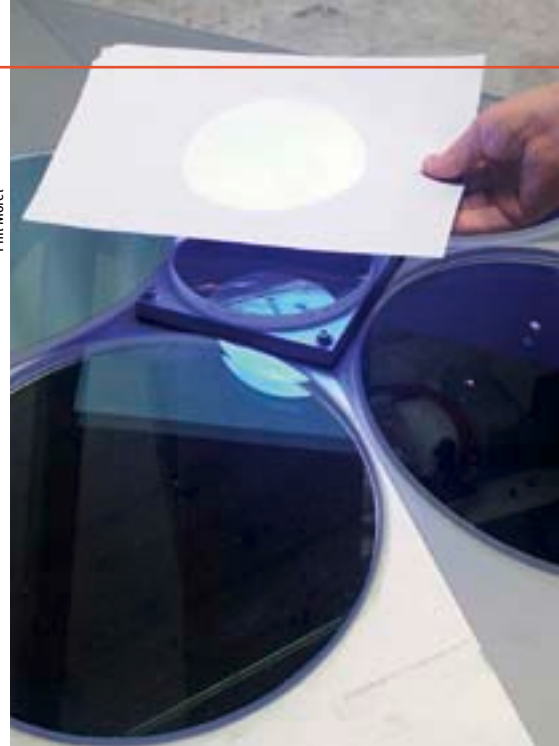
Interaction entre lumière et matière

Cette lumière est en effet porteuse d'information car elle interagit avec la matière qu'elle rencontre. L'interaction la plus simple est appelée élastique: lorsqu'un photon rencontre une particule ou une molécule, il rebondit comme une balle contre un mur. En connaissant la vitesse de la lumière et le temps qui sépare l'émission de la réception d'une impulsion lumineuse, on peut calculer la distance à laquelle se situe la particule ou

la molécule. L'effet Raman vibrationnel (du nom de Sir Chandrasekhara Venkata Raman, Prix Nobel de physique indien qui en fit la découverte) est une autre interaction: la lumière et la molécule rencontrée échangent de l'énergie et, du coup, la longueur d'onde de la lumière varie. Ce changement dépend uniquement du type de molécule rencontrée. Il constitue donc une sorte d'empreinte digitale moléculaire. La comparaison des intensités des longueurs d'onde rétrodiffusées de l'eau et de l'azote – dont la concentration dans l'atmosphère est fixe – permet de mesurer la teneur en vapeur d'eau à différentes altitudes. D'autres interactions comme l'effet Raman rotationnel ou l'effet Doppler permettent de mesurer des profils de température ou de vent.

Dès lors, pourquoi encore employer des ballons-sondes? La réponse de Bertrand Calpini est limpide: «Tout d'abord, notre Lidar est un prototype unique, et il n'est guère envisageable d'en équiper chaque station aérologique. Ensuite, les ballons fonctionnent par tout temps et montent à plus de 30000 mètres, alors qu'une couverture nuageuse à basse altitude rend impossible l'utilisation du Lidar et que les informations qu'il livre se limitent aux dix premiers kilomètres de l'atmosphère. Enfin, le système actuel n'est opérationnel que 50 pour cent du temps, en raison de mauvaises conditions météo ou de pannes.» La plupart des pannes ne concernent pas le Lidar, mais les systèmes périphériques comme l'ouverture du toit, le système de refroidissement ou l'informatique. Mais pour le directeur de la station aérologique de Payerne, «le Lidar est clairement un pas vers la météorologie de demain». ■

Phil Morel



Alain Herzog/EPFL



DLR.de

Nuage de cendres sur l'Europe

Jedi 15 avril 2010: le volcan islandais Eyafjallajökull commence à cracher ses cendres dans l'atmosphère. Au cours des heures qui suivent, les espaces aériens européens ferment les uns après les autres. Informées du phénomène, les équipes de Bertrand Calpini et Valentin Simeonov se mettent à l'affût du fameux nuage à l'aide du Lidar. «Les instances de l'aviation civile étaient avides de données sur ce nuage invisible. Il leur manquait en particulier les informations concernant son altitude, son épaisseur et la concentration

de cendres», explique le directeur de la station aérologique de Payerne.

Vendredi 16 avril 2010, 23h00: le Lidar enregistre l'arrivée du nuage à la verticale de Payerne, à 6500 m d'altitude. Puis il suit sa lente descente dans l'atmosphère, jusqu'à sa disparition, et fournit ces informations essentielles à l'Office fédéral de l'aviation civile. Le Lidar n'ayant pas été développé pour le suivi d'un tel nuage, Valentin Simeonov et Bertrand Calpini sont fiers de ses performances. Si tous deux se réjouissent des perspectives

que cela ouvre, le directeur de la station tempère l'enthousiasme du chercheur de l'EPFL: «Cet appareil n'est pas un instrument de recherche. Pour fournir cette information de façon professionnelle lors d'une prochaine éruption, nous devons en assurer la fiabilité, tant au niveau de l'acquisition des données que de leur interprétation. Cette fois-ci, le hasard, l'enthousiasme et les bonnes volontés ont permis d'obtenir d'excellents résultats. Au vu des enjeux sécuritaires et financiers, l'improvisation ne suffit pas.»



Une lumière qui guérit

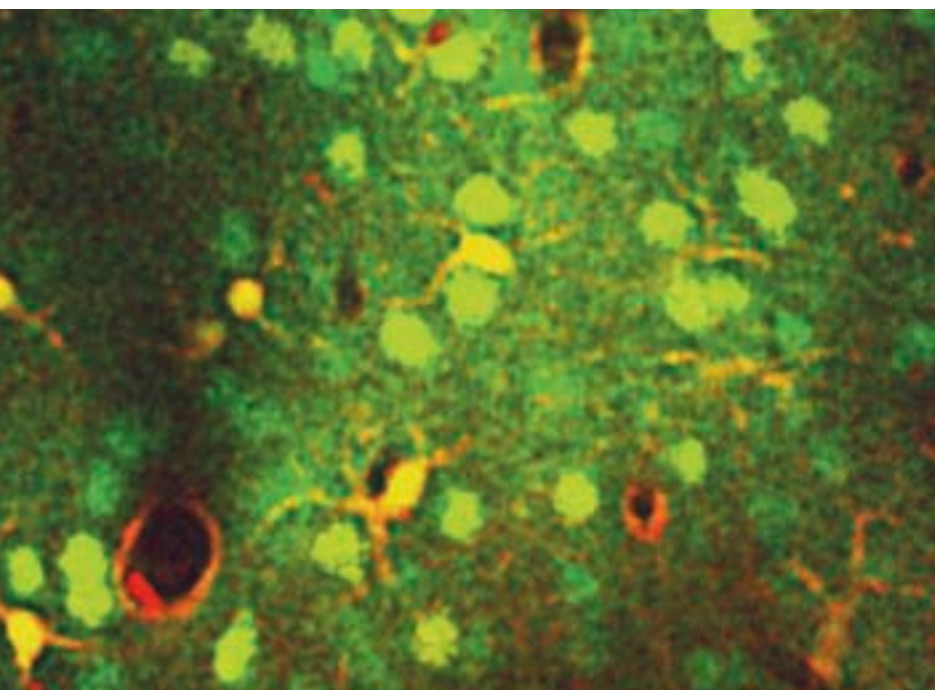
Des biologistes éclairent des souris au laser et rendent visibles certains processus moléculaires et cellulaires restés cachés jusqu'ici. En même temps, ils développent ainsi de nouvelles thérapies, par exemple contre l'arthrite rhumatoïde.

PAR STEFFI LEHMANN

Achats

Un bref mouvement de la main sur le laser installé à la caisse du supermarché suffit pour scanner un code barre. A partir de la séquence de bandes noires plus ou moins larges et d'espaces blancs fortement réfléchissants, le système reconnaît le produit que l'on a mis dans le caddie et son prix.

William Whitehurst/Corbis/Specter



Il est partout, mais bien souvent, nous ne le remarquons pas. Dans notre imprimante, à la caisse du supermarché, dans la discothèque, sur le chantier devant l'immeuble: depuis son invention il y a cinquante ans, le laser est devenu partie intégrante de notre quotidien.

La recherche biomédicale moderne ne serait plus concevable sans lui. Car le laser n'a pas seulement ouvert de nouvelles possibilités thérapeutiques, comme la correction de la myopie. «Il est indispensable également pour la recherche fondamentale», explique Fritjof Helmchen, professeur de neurophysiologie à l'Université de Zurich et à l'EPFZ.

Avec son équipe, il étudie la façon dont les neurones communiquent entre eux lorsqu'ils sont soumis à des stimuli extérieurs.

Regarder les neurones «faire feu»

Les scientifiques utilisent pour leurs expériences des colorants fluorescents qui brillent d'une certaine couleur lorsqu'on les éclaire à la lumière visible ou à la lumière infrarouge. Ces colorants brillent aussi beaucoup plus intensément lorsqu'ils se lient aux ions de calcium qui affluent dans un neurone lorsque ce dernier est activé par un stimulus. A l'aide d'un microscope biphotonique, les chercheurs suivent ces changements d'intensité en temps réel et observent ainsi en quelque sorte les neurones «faire feu» dans un cerveau intact.

Tout ceci est possible grâce au laser: la microscopie biphotonique est en effet la seule technique de microscopie permettant de voir dans les couches profondes du cortex cérébral; elle utilise la lumière laser infrarouge pour pénétrer dans les tissus et stimuler les colorants.

Pour leurs études, les chercheurs exposent des souris à des stimulations sensorielles. Ils plient par exemple légèrement les poils de leurs moustaches, un organe sensoriel important. Dans le cortex, cette stimulation entraîne l'activation de certains neurones qu'ils peuvent localiser précisément. « Le fait de comprendre le fonctionnement de ces circuits neuronaux dans un cerveau sain nous permettra de remonter plus facilement aux causes des défaillances de l'activité cérébrale dans diverses maladies », note le professeur Helmchen.

Markus Rudin, professeur d'imagerie moléculaire à l'Université de Zurich et à l'EPFZ, utilise les lasers et les colorants fluorescents pour rendre visibles certains processus biologiques cachés. Il s'intéresse aux modifications moléculaires à l'origine de certaines affections.

Plaques visibles

L'un des colorants utilisés par Markus Rudin et son équipe se lie spécifiquement aux plaques, ces dépôts de protéines qui s'accumulent dans le cerveau des patients atteints de la maladie d'Alzheimer et perturbent la fonction des neurones. Ce colorant est injecté à des souris génétiquement modifiées qui contractent cette affection. Lorsque les animaux sont soumis à une lumière laser rouge, le colorant se met à briller et met les plaques en évidence.

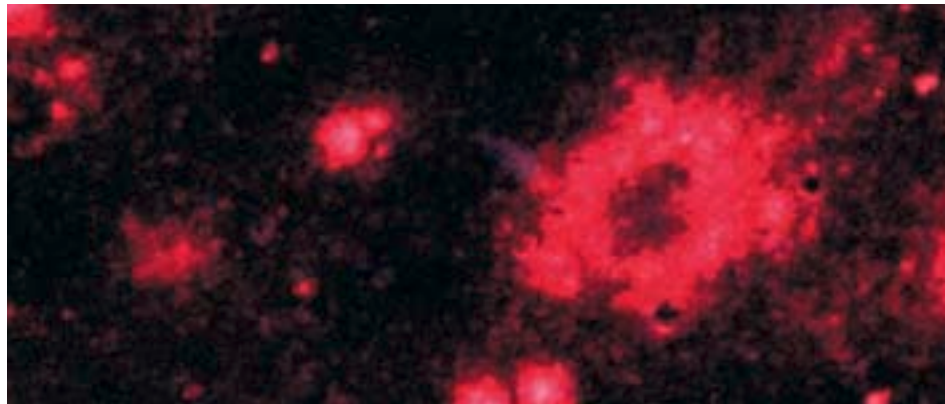
Markus Rudin et ses collaborateurs peuvent ainsi suivre, sur des semaines et des mois, les modifications moléculaires qui interviennent dans le cerveau de ces souris et tester de nouvelles thérapies. Ils ont par exemple montré qu'un certain anticorps qui se liait aux dépôts de protéines chez les patients atteints d'Alzheimer finissait par entraîner leur destruction: les cerveaux des souris malades qui ont été traitées pendant plusieurs semaines avec cet anticorps brillaient en effet avec moins d'intensité. ▶

Chirurgie oculaire

En vingt ans, le laser est devenu en médecine synonyme d'embellie pour les porteurs de lunettes et de lentilles de contact. Le laser aplatit la cornée en la gommant très légèrement et corrige ainsi la réfringence de l'œil, ce qui permet d'améliorer l'acuité visuelle.



SwissLaskik/Photopress



Internet

Depuis vingt ans, le cœur d'Internet, appelé dorsale Internet, est composé de câbles en fibre de verre. Actuellement, ces derniers conquièrent toujours davantage le dernier kilomètre des raccordements aux domiciles des usagers dans les villes. Une lumière laser de différentes couleurs augmente la bande passante et permet aux e-mails de foncer dans le web à la vitesse de la lumière.



Salvatore Di Nolfi/Keystone



En savoir plus sur Alzheimer. La lumière laser met en évidence des dépôts de protéines (ci-dessus et au milieu, en rouge) typiques de la maladie d'Alzheimer dans le cerveau d'une souris de laboratoire.
Photos: www.biomed.ee.ethz.ch; Peter Lauth



Soulager l'arthrite. La thérapie photodynamique recourt à la lumière du laser pour détruire des cellules dans les articulations enflammées. Testé avec succès sur des souris, ce traitement pourrait à l'avenir aussi être utilisé chez l'homme. Photo : CNRI/SPL/Keystone

tissus enflammés, par le biais d'une intervention chirurgicale ou par radiothérapie. Ces traitements ont des effets secondaires dangereux et ne peuvent pas être répétés à volonté.

Nouvelle base thérapeutique

Dans leur quête d'un traitement alternatif, Nathalie Busso, collaboratrice scientifique au CHUV, et Norbert Lange, de l'Institut de pharmacologie de l'Université de Genève, se sont tournés vers la thérapie photodynamique. Cette méthode recourt à la lumière du laser pour déclencher une réaction chimique entre une substance inoffensive injectée dans le sang des patients et l'oxygène présent dans le tissu. Il en résulte des formes réactives de l'oxygène qui sont toxiques et détruisent les cellules dans leur environnement immédiat.

Pour éviter que les toxines ne soient libérées au mauvais endroit dans l'organisme, les chercheurs ont associé plusieurs molécules de cette substance à des protéines. Car tant que les molécules sont assemblées, elles ne peuvent pas être activées par la lumière. Mais dans les articulations touchées, la réaction inflammatoire active les bonnes protéases: ces ciseaux moléculaires coupent les protéines et rendent ainsi la substance sensible à la lumière. Seules les cellules des articulations enflammées sont éliminées de façon ciblée.

«Ce traitement est très spécifique et ne devrait donc pas provoquer d'effets secondaires», relève avec optimisme Norbert Lange. Avec Nathalie Busso, ils ont testé pour la première fois cette nouvelle méthode de traitement sur des souris génétiquement modifiées atteintes d'arthrite rhumatoïde, avec succès!

Tous deux espèrent donc qu'en plus des nombreux services qu'il rend déjà, le laser pourra bientôt améliorer le sort des patients souffrant d'arthrite rhumatoïde. ■

Soudure

Les lasers que l'on l'utilise par exemple dans l'industrie automobile concentrent une grande quantité d'énergie et permettent de souder proprement différents matériaux. Des lentilles optiques concentrent la lumière sur une focale où cette dernière chauffe les matériaux synthétiques et les métaux au-delà de leur point de fusion.

Mais si la lumière laser rouge ou infrarouge réussit à traverser la boîte crânienne des souris, la peau et les os du crâne humain sont beaucoup trop épais pour qu'une application clinique chez l'homme soit possible aujourd'hui. En revanche, une nouvelle forme de traitement pour les patients atteints d'arthrite rhumatoïde devrait être envisageable. Cette maladie auto-immune provoque des inflammations des articulations, notamment au niveau de la couche interne de la capsule articulaire. Comme dans un cancer, la maladie entraîne une croissance du tissu de la capsule qui détruit l'articulation.

Dans la plupart des cas, des médicaments anti-inflammatoires permettent de contrôler les symptômes. Mais 30 pour cent des patients sont résistants à ce type de traitement. Chez eux, les médecins sont contraints de procéder à une ablation des



Norbert Lange/laif/Keystone